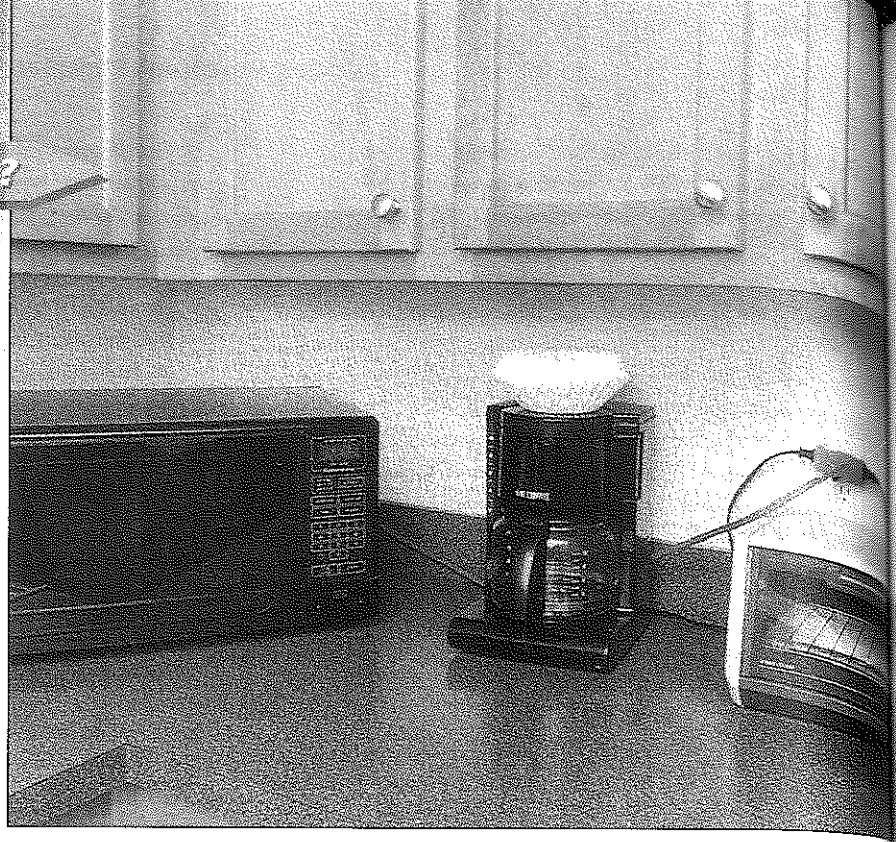


* SİZCE NEDİR?

Bütün bu aletler birlikte çalıştırılırsa, devre kesici muhtemelen tehlikeli durumu önlemeye yetmeyecektir. Bir devrede pek çok elektrik cihazının fişi piriye takıldığı zaman, devre kesicinin devreye girmesinin sebebi nedir? (George Semple)



b ö l ü m

28

Doğru Akım Devreleri

Bölüm İçeriği

- 28.1 Elektromotor Kuvveti
- 28.2 Seri ve Paralel Bağlı Dirençler
- 28.3 Kirchhoff Kuralları
- 28.4 RC Devreleri

- 28.5 (Seçmeli) Elektrik Ölçen Aygıtlar

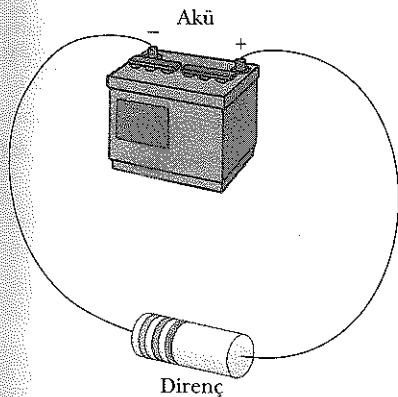
- 28.6 (Seçmeli) Ev Elektrik Tesisatı ve Emniyeti

Bu bölüm, çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanmış bataryalar, dirençler ve kondansatörlerden oluşan bazı basit devrelerin incelenmesi ile ilgilidir. Bu tür devrelerin analizi, *Kirchhoff kuralları* olarak bilinen iki kuralın kullanılması ile iyice basitleşir. Bu kurallar, enerji ve yükün korunumu kanunlarından çıkmaktadır. Analiz edilen devrelerin çoğunun *kararlı durumda* olduğu kabul edilecektir; yani bu durumda akım, büyüklük ve yön bakımından sabittir. Bu bölümdeki Kesim 28.4 te, akımın zamanla değiştiği dirençler ve kondansatörlerden oluşan devreleri tartışacağız. Son olarak akım, potansiyel farkı, direnç ve elektromotor kuvvet (emk) ölçümlerinde kullanılan çeşitli elektrik cihazları ve teknikler tanıtılacaktır.

28.1 ELEKTROMOTOR KUVVETİ

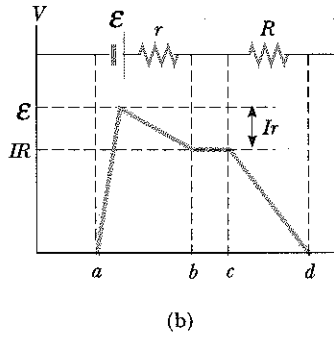
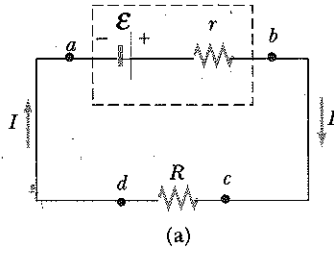
Kesim 27.6'da, **elektromotor kuvvet (emk)** denilen bir enerji kaynağı kullanmak suretiyle kapalı bir devrede sabit bir akımın kurulabileceğini gördük. emk kaynağı, devrede dolaşan yüklerin potansiyel enerjisini *artırabilecek* olan (batarya veya jeneratör benzeri) herhangi bir aygıttır. emk kaynağını bir "yük pompası" olarak düşünebiliriz. İki nokta arasında bir elektriksel potansiyel farkı oluştuğunda, kaynak, yükleri düşük potansiyelden yüksek potansiyele "tepeye doğru" hareket ettirir. Bir kaynağın emk'sı, $\mathcal{E}$, birim yük başına yapılan iş olarak tanımlanır ve emk'nın SI deki birimi voltur.

Bir dirence bağlı bir bataryadan (akü) ibaret olan Şekil 28.1 deki devreyi inceleyelim. Burada, bağlantı kablolarının direncinin olmadığını kabul edeceğiz. Bataryanın pozitif ucu, negatif ucundan daha yüksek potansiyele sahiptir. Şayet bataryanın kendi iç direncini ihmal edebilseydik, bataryanın uçları arasındaki potansiyel farkı (çıkış voltajı), onun emk'sına eşit olurdu. Ancak, gerçek bir batarya her zaman r ile göstereceğimiz bir iç dirence sahip olduğundan, bataryanın çıkış voltajı emk'sına eşit değildir. Şekil 28.1'de gösterilen devre, Şekil 28.2(a)'daki devre şeması ile anlatılabilir. Noktalı çizgilerle gösterilen dikdörtgen içerisindeki batarya, $\mathcal{E}$ kaynağına seri bağlı olan r iç direnci ile birlikte temsil edilmektedir. Şimdi, Şekil 28.2(a)'da a noktasından b noktasına pozitif bir yükün hareket ettiğini düşünelim. Akünün negatif ucundan pozitif ucuna geçildiğinde, yükün potansiyeli $\mathcal{E}$ kadar *artar*. Fakat yük, r direnci içerisinde geçerken, potansiyeli Ir kadar *azalır*. Burada I devredeki akımdır. Böylece bataryanın uçları arasındaki $\Delta V = V_b - V_a$ voltajı,



Şekil 28.1 Bir akünün uçlarına bağlı dirençten ibaret devre.

¹Bu durumda bataryanın çıkış voltajı emk'dan Ir kadar düşüktür. Bazı durumlarda çıkış voltajı, emk'yi Ir kadar *aşabilir*. Bu durum, akım yönü, emk'nın yönüne *zıt* olduğunda meydana gelir; ki bu olay, bir akünün diğer bir emk kaynağı ile şarj edildiği (doldurulduğu) durumda gözlenir.



Şekil 28.2 (a) İç direnci r olan bir emk, $\mathcal{E}$ kaynağının (bu durumda batarya), R dış direncine bağlanışını gösteren devre şeması (b) (a) ile gösterilen devredeki potansiyel değişimini gösteren grafik. (a) daki seri devrede akım saat yönündedir.

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir \quad (28.1)$$

ile verilir.¹ Bu ifadeye göre, $\mathcal{E}$ 'nin **açık devre voltajına**, yani, *akımın sıfır olduğu durumda bataryanın kutupları arasındaki voltaja eşdeğer olduğuna* dikkat ediniz. emk, batarya üzerindeki etiketlenmiş gerilimdir. Örneğin, D pilinin emk'si 1,5 V'tur. Bataryanın uçları arasındaki gerçek potansiyel farkı, Eş. 28.1 de tanımlandığı gibi, batarya içerisinden geçen akıma bağlıdır.

Şekil (28.2b) devrede, saat yönünde dolaşıldığında, potansiyel değişimlerini temsil eden bir grafik. Şekil 28.2a'yı incelediğimizde görürüz ki; çıkış voltajı ΔV dış direnç R 'nin uçları arasındaki potansiyel farkına eşit olmalıdır. Bu R dış dirence genellikle **yük direnci** denir. Bu yük direnci Şekil 28.1 de görüldüğü gibi basit dirençli bir devre elamanı veya bataryaya bağlı bazı elektrik cihazlarının direnci olabilir (tost makinesi, elektrik ısıtıcısı veya ampul gibi). Direnç batarya üzerindeki yükü temsil eder, çünkü, batarya cihaza enerji sağlamalıdır. Burada, yük direncinin uçları arasındaki potansiyel farkı, $\Delta V = IR$ dir. Bunu 28.1 eşitliğiyle birleştirirsek

$$\mathcal{E} = IR + Ir \quad (28.2)$$

olduğunu görürüz. Bu eşitlikten akımı çözersek,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (28.3)$$

elde ederiz. Buradan görülüyor ki, bu basit devreden geçen akım, hem bataryaya bağlı dış dirence hem de bataryanın iç direncine bağlıdır. Yük direnci R , iç direnç r den çok büyükse, hesaplarda r yi bir çok gerçek devrede olduğu gibi ihmal edebiliriz. 28.2 Eşitliğini I akımı ile çarparsak aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$I\mathcal{E} = I^2 R + I^2 r \quad (28.4)$$

Bu eşitlik bize şunu söyler: güç $\mathcal{P} = I\Delta V$ olduğu için (Bak. Eş. 27.22) emk kaynağının toplam çıkış gücü, $I\mathcal{E}$; yük direncinde joule ısı olarak harcanan $I^2 R$ gücü, *arti* iç dirençte harcanan $I^2 r$ gücüne dönüşmektedir. Yine, $r \ll R$ ise, batarya tarafından sağlanan gücün çoğu yük direncine aktarılmaktadır.

ÖRNEK 28.1 Bataryanın Çıkış Voltajı

Bir batarya, 12 V'luk emk ve 0,05 Ω 'luk iç dirence sahiptir. Bataryanın uçları 3 Ω 'luk bir yük direncine bağlanıyor. (a) Devredeki akımı ve bataryanın çıkış voltajını bulunuz.

Çözüm Önce Eş. 28.2 sonra Eş. 28.3 ü kullanırsak

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12,0 \text{ V}}{3,05 \Omega} = 3,93 \text{ A}$$

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir = 12,0 \text{ V} - (3,93 \text{ A})(0,05 \Omega) = 11,8 \text{ V}$$

elde ederiz. Bu sonucun doğruluğunu kontrol için, R yük direnci üzerindeki voltaj düşmesini hesaplayabiliriz:

$$\Delta V = IR = (3,93 \text{ A})(3 \Omega) = 11,8 \text{ V}$$

(b) Yük direncinde ve bataryanın iç direncinde harcanan gücü hesaplayınız. Batarya tarafından sağlanan güç ne kadardır?

Çözüm Yük Direnci tarafından harcanan güç,

$$\mathcal{P}_R = I^2 R = (3,93 \text{ A})^2 (3 \Omega) = 46,3 \text{ W}$$

ve iç direnç tarafından harcanan güç

$$\mathcal{P}_r = I^2 r = (3,93 \text{ A})^2 (0,05 \Omega) = 0,772 \text{ W}$$

olur. O halde batarya tarafından sağlanan güç, her iki direnç üzerinde harcanan güçlerin toplamı yani 47,1W olacaktır. Bu sonuç $\mathcal{P} = I\mathcal{E}$ ifadesi kullanılarak kontrol edilebilir.

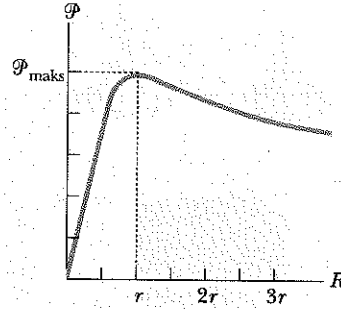
ÖRNEK 28.2 Yük Eşleşmesi

Şekil 28.2a'daki R yük direncinde kaybolan gücün, $R = r$ olduğunda maksimum olacağını gösteriniz.

Çözüm Yük direncinde harcanan güç $I^2 R$ ye eşittir. Burada I , Eş. 28.3 ile verilir. O halde

$$\mathcal{P} = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$$

dir. Şekil 28.3'de görüldüğü gibi, $\mathcal{P}$ 'nin R ye göre grafiğini çizersek, $\mathcal{P}$ 'nin, $R = r$ de $\mathcal{E}^2/4r$ olan bir maksimum değere ulaştığını görürüz. Bu sonuç $\mathcal{P}$ 'nin R ye göre türevini alıp, çıkan sonucu sıfıra eşitleyip, bu eşitlikten R yi çözerek de ispat edilebilir. Ayrıntılar problem olarak bırakılmıştır (Problem 57).



Şekil 28.3 Bir yük direncine verilen $\mathcal{P}$ gücünün R 'nin fonksiyonu olarak grafiği. R ye verilen güç, $R = r$ olduğu zaman maksimum olduğuna dikkat ediniz.

28.2 SERİ VE PARALEL BAĞLI DİRENÇLER

Varsayınız ki, siz ve arkadaşlarınız spor salonunda kalabalık bir basketbol oyunundasınız ve erken ayrılmaya karar verdiniz. Bu durumda iki seçeneğiniz vardır. (1) Sizin grubunuzun tamamı tek bir kapıdan dışarı çıkabilir ve yiyecek ve benzeri kulübelerin bulunduğu ve her biri büyük bir insan kalabalığı tarafından çevrilmiş duraklar ihtiva eden uzun bir koridoru yürüyebilirsiniz. veya, (2) sizin grubunuzun her bir üyesi sahanın ana koridorunda ayrı kapılardan çıkabilir. Burada her biri kendi koridoru üzerindeki ayakta duran insanların tek bir grubunu kapıya doğru itmek zorunda kalacaktır. Sizin grubunuzun sahayı terk etmesi için gerekli olan zaman hangi durumda daha azdır?

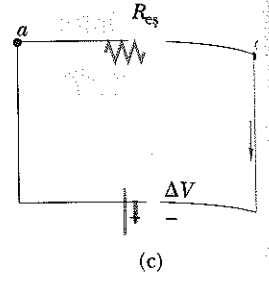
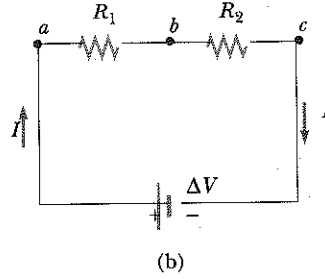
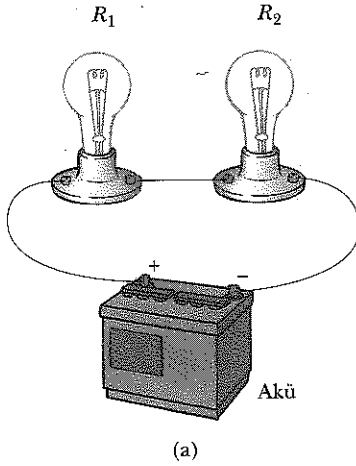
Açıkça, sizin grubunuz sizin her birinizin diğer bir çok insanı itmek zorunda kalarak takip ettiği yoldakinden ziyade ayrı kapılardan salonu daha hızlı terk edebilecektir. Tek koridorda hareket eden insan grubunu *seri* olarak tanımlayabiliriz. Çünkü sizin her biriniz yol üzerindeki bütün grupları itmek zorunda kalacaktır. Sahadaki kapılar etrafındaki insan gruplarını *paralel* hareket eden şeklinde tanımlayabiliriz. Sizin grubunuzun her bir üyesi insan gruplarının yalnızca birisini itmelidir. Bu basit benzetme bir dirençten daha fazlasını ihtiva eden elektrik devrelerinde akımın davranışını anlamamıza yardım edecektir.

İki veya daha fazla direnç, çift başına sadece tek bir ortak noktaya sahip olacak şekilde, Şekil 28.4a'daki gibi birbirlerine bağlanmışsa, bu dirençlerin *seri* bağlı oldukları söylenir. Şekil 28.4b, seri bağlı iki direnci gösteriyor. Seri bağlantılarda, bir direnç içerisinden hareket eden bütün yükler ikinci direnç içinden de geçmelidir. (Bu, spor salonunun tek koridorunda kalabalık içerisinden geçen sizin grubunuzun bütün üyelerine benzerdir.) Aksi takdirde, yük, dirençler arasında toplanacaktır. O halde,

dirençlerin seri bağlanmasında, R_1 direncinden akan bir yük, R_2 direncinden akan yüke eşit olması gerektiğinden, her iki direnç içerisinden geçen akımın aynı olacağına

dikkat ediniz. Seri bağlı dirençlerin uçları arasına uygulanan potansiyel farkı dirençler arasında bölünecektir. Şekil 28.4b'de², a noktası ile b noktası arasın-

²Potansiyel düşmesi terimi bir direncin uçları arasındaki elektriksel potansiyeldeki azalmayla eş anlamlıdır ve elektrik devreleriyle çalışırken sık sık kullanılır.



Şekil 28.4 (a) İki tane R_1 ve R_2 dirençlerinin seri olarak bağlanması. Bu dirençlerden geçen akım aynıdır. (b) İki dirençli devrenin devre diyagramı. (c) $R_{es} = R_1 + R_2$ şeklinde, eşdeğer dirence sahip olan tek bir dirence indirgenmiş devre.

daki potansiyel düşmesi IR_1 'e ve b noktası ile c noktası arasındaki potansiyel düşmesi IR_2 'ye eşit olduğundan, a ile c arasındaki potansiyel düşmesi

$$\Delta V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

ile verilir. Bu nedenle iki direnci, tek bir eşdeğer direnç (R_{es}) ile yer değiştirebiliriz. R_{es} 'in değeri, dirençlerin toplamına eşittir; yani

$$R_{es} = R_1 + R_2 \quad (28.5)$$

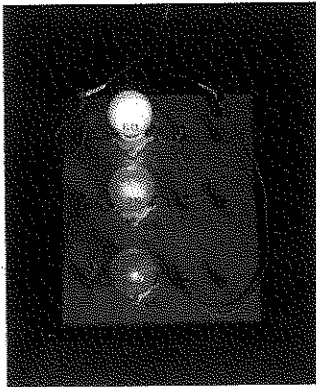
olur. R_{es} direnci, $R_1 + R_2$ seri bağlı dirençlere şu anlamda eşdeğerdir: $R_1 + R_2$ direnci yerine R_{es} direnci kullanıldığında devredeki akım değişmez. Seri bağlı üç veya daha fazla dirence karşılık gelen eşdeğer direnç de basitçe

$$R_{es} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (28.6)$$

olur. O halde, seri bağlı dirençlerin eşdeğer direnci, devredeki herhangi bir direncin değerinden daima büyüktür.

Sınama Sorusu 28.1

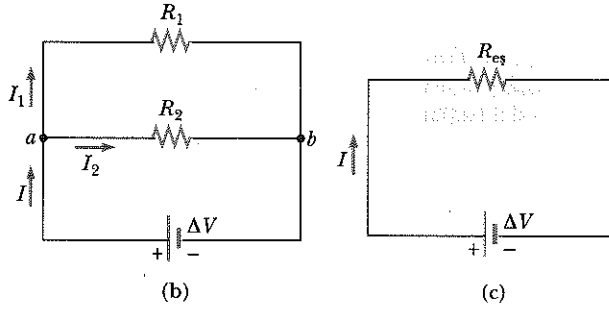
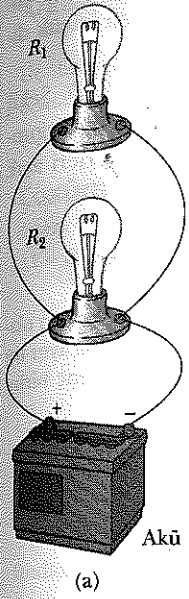
Bir tel parçası Şekil 28.4b'deki b ve c noktalarına bağlamak için kullanılırsa, R_1 dirençli ampulün parlaklığı artar mı, azalır mı yoksa aynı mı kalır? R_2 dirençli ampulün parlaklığına ne olur?



60W, 75 W ve 200 W'lık güçlere sahip seri bağlı üç lamba. Uygulanan toplam voltaj 120 V tur. Lambaların ışık şiddetleri neden birbirlerinden farklıdır? Hangi lamba en büyük dirence sahiptir? Bu lambalar paralel olarak bağlan-salardı, birbirlerine göre ışık şiddetleri nasıl değişirdi? (Henry Leap ve Jim Lehman'ın izniyle)

Şimdi, Şekil 28.5'de görüldüğü gibi paralel bağlı iki direnci inceleyelim. I akımı a noktasına (bu noktaya *düğüm* denir) vardığında iki kola ayrılır. Bunlar, R_1 'den geçen I_1 ve R_2 'den geçen I_2 'dir. R_1, R_2 'den daha büyükse I_1, I_2 'den daha küçük olur. Bir düğüm, akımın bölündüğü direnç üzerinde bir noktadır. Önce anlatıldığı gibi, alanı terketmek için grubunuzun kapılara bölündüğü gibi). Bu bölünmenin bir sonucu olarak, her bir dirençteki akım, bataryadan çıkan akımdan daha azdır. Yük korunması gerektiğinden a noktasına giren I akımı, bu noktayı terkeden toplam akıma eşit olmalıdır:

$$I = I_1 + I_2$$



Şekil 28.5 R_1 ve R_2 gibi iki direncin paralel bağlanması. Her bir direncin uçları arasındaki potansiyel farkı aynıdır ve bileşik devrenin eşdeğer direnci $R_{es} = R_1^{-1} R_2^{-1} / (R_1 + R_2)^{-1}$ ile verilir.

Şekil 28.5 te görüleceği gibi, iki direnç de doğrudan bataryanın uçlarına bağlanmıştır. Buna göre,

dirençler paralel bağlanırsa, üzerindeki potansiyel farkları aynı olur.

Her bir direncin uçları arasındaki potansiyel düşmesinin aynı olması gerektiğinden, $\Delta V = IR$ ye göre

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\Delta V}{R_{es}}$$

yazabiliriz. Buradan, paralel bağlı iki dirence ait eşdeğer direncin

$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (28.7)$$

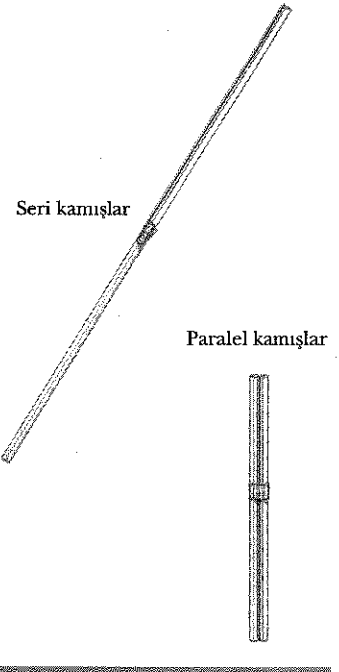
$$R_{es} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

olarak verileceğini görüyoruz. Bu analiz paralel bağlı üç veya daha fazla dirence genelleştirilirse,

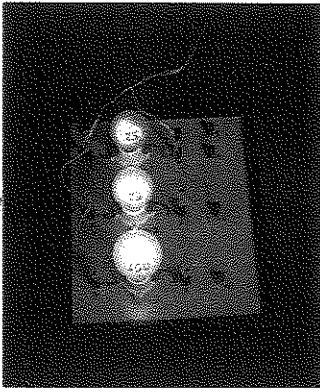
$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (28.8)$$

Ev Deneyi

Bir çift kamışı uç uca ve diğer çifti yan yana bağlayınız. Hangi çiftin içinden üfleme daha kolaydır. Şayet yan yana bağlanmış üç kamış ile uç uca bağlanmış üç kamış karşılaştırsaydınız ne olurdu?



Paralel bağlı dirençlerin eşdeğer direnci



Yaklaşık 100 V'luk bir voltaj kaynağına paralel bağlı 25 W, 75 W ve 150 W'luk güçlere sahip üç lamba. Bütün lambalar aynı voltaja sahiptirler. Lambaların verdiği ışık şiddetleri neden farklıdır? Hangi lamba en çok akım çeker? Hangisi en düşük dirence sahiptir. (Henry Leap ve Jim Lehman'ın izniyle)

ifadesi yazılabilir. Buradan görülüyor ki; **paralel bağlı iki veya daha fazla dirençten oluşan bir devrenin eşdeğer direnci, grurup içerisindeki en küçük dirençten daha küçüktür.**

Binaların elektrik donanımlarında lambalar (veya aletler v.b.) Şekil 28.5a'daki gibi paralel bağlanır. Bu durumda her bir alet birbirinden bağımsız olarak çalışır. Yani, birisinin çalıştırma anahtarı kapatılırsa diğerleri açık kalır. Ayrıca her bir alet aynı voltajda çalışır.

Sinama Sorusu 28.2

Şekil 28.1 deki bataryanın iç direncinin 0 olduğunu varsayınız. Şayet birinciye seri olarak ikinci bir direnç ilave edersek, bataryadaki akım artar mı, azalır mı yoksa aynı mı kalır? Bataryanın uçları arasındaki potansiyel farkı nasıldır? Şayet ikinci direnç birinciye paralel bağlanırsa cevabınız, değişir miydi?

Sinama Sorusu 28.3

Otomobil farları paralel mi yoksa seri mi bağlanırlar? Bunu nasıl açıklarsınız?

ÖRNEK 28.3 Eşdeğer Direncin Bulunması

Dört direnç Şekil 28.6a'daki gibi birbirlerine bağlanmışlardır. (a) a ve c noktaları arasındaki eşdeğer direnci bulunuz.

Çözüm Devre, Şekil 28.6'daki adımlar takip edilerek indirgenebilir. $8,0\Omega$ 'luk ve $4,0\Omega$ 'luk dirençler seri bağlıdır. Böylece a ve b arasındaki eşdeğer direnç $12,0\Omega$ 'dur. (Eşitlik 28.5'e bakınız) $6,0\Omega$ ve $3,0\Omega$ 'luk dirençler paralel bağlıdır ve böylece Eşitlik 28.7'den b ve c arasındaki eşdeğer direncin $2,0\Omega$ olduğunu buluruz. Buradan a ve c arasındaki eşdeğer direnç $14,0\Omega$ olur.

(b) a ve c arasına 42-V 'luk bir potansiyel farkı uygulanırsa her bir dirençteki akım ne olur?

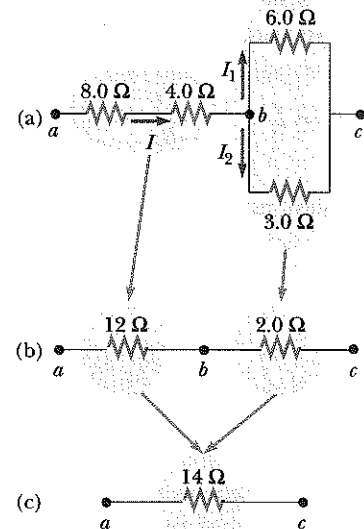
Çözüm $8,0\Omega$ ve $4,0\Omega$ 'luk dirençler seri bağlı olduklarından, bu dirençlerden geçen I akımı aynıdır. Eş. 27.8 ($R = \Delta V/I$) ve (a) da bulduğumuz sonuçları kullanırsak

$$I = \frac{\Delta V_{ac}}{R_{es}} = \frac{42\text{ V}}{14\Omega} = 3,0\text{ A}$$

elde ederiz. Bu 4Ω ve 8Ω luk dirençlerdeki akımdır. Bu akım, b deki düğüm noktasına geldiğinde birisi 6Ω luk dirençten geçen I_1 akımı, diğeri 3Ω luk dirençten geçen I_2 akımı olmak üzere iki kısma ayrılır. Bu dirençlerin uçları arasındaki potansiyel farkı V_{bc} aynı olduğundan (çünkü bu dirençler paralel bağlıdır), $6I_1 = 3I_2$ veya $I_2 = 2I_1$ olduğu görülür. Bu sonucu ve $I_1 + I_2 = 3\text{ A}$ olduğu gerçeğini kullanırsak, $I_1 = 1\text{ A}$ ve $I_2 = 2\text{ A}$ elde ederiz. Bunu başlangıçtan beri tahmin edebiliydik. Şöyle ki; 3Ω 'luk dirençten geçen

akım, 6Ω 'luk dirençten geçen akımın iki katı olmak zorundadır. Çünkü bu dirençlere uygulanan voltajlar aynıdır ve dirençlerden biri diğerinin iki katıdır.

Çözümün son bir sağlaması için, $V_{bc} = (6\Omega)I_1 = (3\Omega)I_2 = 6\text{ V}$ ve $\Delta V_{ab} = (12\Omega)I = 36\text{ V}$ olduğuna ve böylece $\Delta V_{ac} = \Delta V_{ab} + \Delta V_{bc} = 42\text{ V}$ olması gerektiğine dikkat ediniz.



Şekil 28.6

ÖRNEK 28.4 Paralel Bağlı Üç Direnç

Üç direnç, Şekil 28.7'deki gibi paralel bağlanıyor. a ve b noktaları arasına 18 V'luk bir potansiyel farkı uygulanıyor.
(a) Her bir dirençteki akımı bulunuz.

Çözüm Dirençler paralel bağlıdır ve böylece her bir direncin uçları arasındaki potansiyel farkı 18 V olmalıdır. $\Delta V = IR$ eşitliğini her bir dirence uygularsak,

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{18 \text{ V}}{3,0 \Omega} = 6,0 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{18 \text{ V}}{6,0 \Omega} = 3,0 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{\Delta V}{R_3} = \frac{18 \text{ V}}{9,0 \Omega} = 2,0 \text{ A}$$

(b) Her bir dirençte harcanan gücü ve üç direnç tarafından harcanan toplam gücü hesaplayınız.

Çözüm $\mathcal{P} = (\Delta V)^2 / R$ 'yi her bir direnç için uygularsak,

$$\mathcal{P}_1 = \frac{\Delta V^2}{R_1} = \frac{(18 \text{ V})^2}{3,0 \Omega} = 110 \text{ W}$$

$$\mathcal{P}_2 = \frac{\Delta V^2}{R_2} = \frac{(18 \text{ V})^2}{6,0 \Omega} = 54 \text{ W}$$

$$\mathcal{P}_3 = \frac{\Delta V^2}{R_3} = \frac{(18 \text{ V})^2}{9,0 \Omega} = 36 \text{ W}$$

olur. Buradan görülüyor ki, en küçük direnç en çok akımı taşıdığından, en büyük gücü harcamaktadır. Üç niceliğin toplamı 200 W olur.

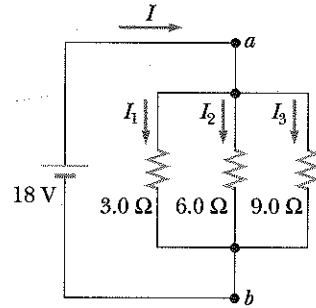
(c) Devrenin eşdeğer direncini hesaplayınız.

Çözüm $R_{eş}$ direncini bulmak için 28.8 Eşitliğini kullanabiliriz:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eş}} &= \frac{1}{3,0 \Omega} + \frac{1}{6,0 \Omega} = \frac{1}{9,0 \Omega} \\ &= \frac{6}{18 \Omega} + \frac{3}{18 \Omega} + \frac{2}{18 \Omega} = \frac{11}{18 \Omega} \\ R_{eş} &= \frac{18 \Omega}{11} = 1,6 \Omega \end{aligned}$$

Alıştırma Batarya tarafından üretilen gücü bulmak için $R_{eş}$ i kullanınız.

Cevap 200W

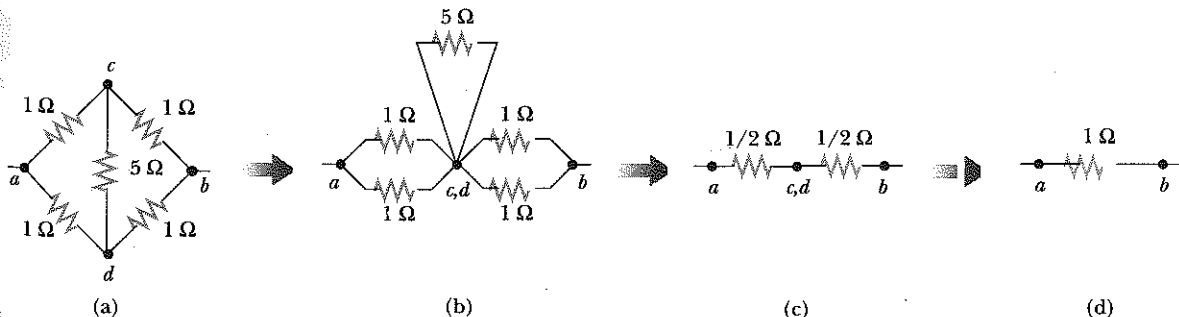


Şekil 28.7 Paralel bağlı üç direnç. Her bir direncin uçları arasındaki potansiyel farkı 18 V'tur.

ÖRNEK 28.5 Simetri Metodu ile $R_{eş}$ 'in bulunması

Şekil 28.8a da gösterildiği gibi bağlanan beş adet direnç veriliyor. a ve b noktaları arasındaki eşdeğer direnci bulunuz.

Çözüm Bu tip problemlerde, a düğüm noktasına giren bir akımın var olduğunu farz etmek ve daha sonra simetri özelliğini uygulamak uygundur. Devredeki simetri-



Şekil 28.8 Bu devredeki simetriden dolayı, 5 Ω luk direnç a ve b noktaları arasındaki dirence katkıda bulunmaz ve dikkate alınmayabilir.

den dolayı (dış ilmekteki bütün dirençler 1Ω 'dur.) devrenin ac ve ad kollarındaki akımlar birbirine eşit olmalıdır. Bu nedenle c ve d noktalarındaki potansiyeller de eşit olmalıdır. $\Delta V_{cd} = 0$ olduğundan, c ve d noktaları, Şekil 28.8b'deki gibi, devreyi etkilemeksizin birbirlerine bağlanabilirler. Böylece 5Ω luk direnç devreden çıkarılabilir ve devre Şe-

kil 28.8c ve 28.8d'de gösterilenlere indirgenebilir. Şekil 28.8d'deki indirgenmiş devreden görüldüğü gibi, bileşik devrenin eş değer direnci 1Ω 'dur. Burada dikkat edilmelidir ki, c ve d noktaları arasındaki direncin değeri ne olursa olsun sonuç 1Ω 'dur.

KAVRAMSAL ÖRNEK 28.6

Üç Farklı Şekilde Çalışan Ampul

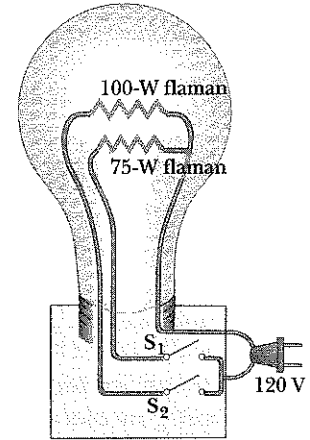
Şekil 28.9, ışık şiddetini üç farklı seviyede elde etmek için düzenlenmiş bir ampul düzeneğini gösterir. Ampulün soketi seçilen farklı ışık şiddetleri için üçlü anahtarla dizayn edilmiştir. Ampul iki filaman ihtiva eder. Ampul 120 V'luk kaynağa bağlandığı zaman, filamanın birisi 100W'lık diğeri 75W'lık güç çeker. Üç farklı ışık şiddetini elde etmek için iki filamanın nasıl kullanılacağını açıklayınız.

Çözüm Üç farklı ışık şiddeti her bir filamanda tek başına, veya diğer filamana tek başına, veya iki filamana paralel olarak 120V uygulayarak mümkün olur. S_1 anahtarı kapalı S_2 anahtarı açıkken, akım yalnızca 75W'lık filament içerisinden geçer. S_1 anahtarı açık S_2 anahtarı kapalıyken, akım yalnızca 100W'lık flaman içerisinden geçer. Her ikisi kapalıyken, akım her iki flaman içerisinden geçer ve toplam güç 175W olur.

Şayet flamanlar seri bağlansaydı ve onlardan birisi kesilseydi, filamanların hiç birinden akım geçmezdi ve ampul, anahtar hangi pozisyonunda olursa olsun ışık vermeyecekti. Bununla beraber, paralel bağlı filamanlar durumunda, şayet onlardan birisi (örneğin 75W'lık filaman) kesilirse, diğeri içerisinden akım geçerek her iki anahtar pozisyonunda da halâ çalışacaktır.

Alıştırma İki flamanın direncini ve paralel eşdeğer direncini tayin ediniz.

Cevap 144 Ω , 192 Ω , 82,3 Ω



Şekil 28.9 Üç farklı ışık veren ampul

UYGULAMA Işıklı Şeritler

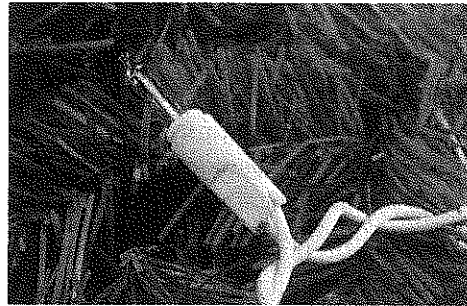
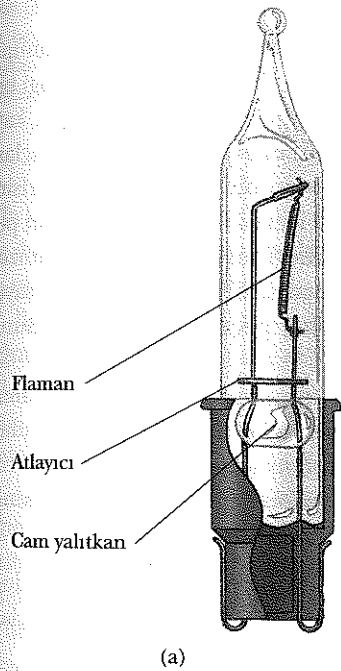
Yılbaşı ağaçlarını dekore ederken pek çok süsleme işlemlerinde ışıklı şeritler kullanılır. Yıllardır hem paralel hem de seri bağlantılar 120V'luk³ kaynakla beslenen çoklu ışıklı şeritler için kullanılmaktadır. Seri bağlı ampuller, ev içinde yapılan yılbaşı ağacı için paralel bağlı ampullerden daha emniyetlidir. Çünkü, seri bağlı ampuller ampul başına daha az ışıkla çalışır ve daha düşük sıcaklıktadır. Bununla beraber, tek flamanlı ampul düşerse (veya ampul soketten çıkarsa) ip üzerindeki bütün ışıklar söner. Seri bağlı ışıklı şeritlerin popülaritesi azaldı. Çünkü, düşen ampulün verdiği aksaklığı gidermek için, kusurlu ampulü buluncaya kadar ip boyunca her bir soketteki sağlam ampulü deneyerek bağlama can sıkıcı ve zaman alıcı bir işlemdi.

Paralel bağlı iplerde her bir ampul 120V'la çalışır. Böyle bir dizaynda, ampuller seri bağlı olanlarınkine daha parlak ve daha sıcaktır. Sonuç olarak, bu ampuller tabii olarak daha tehlikelidir (yangın çıkmasına daha meyillidir), fakat şayet paralel bağlı telde bir ampul düşer veya çıkarsa, ampullerin geri kalanlarının ışması sürekli olur. (4 W'lık 25 ampul toplam 100W'lık güce sahiptir; çok şerit kullanıldığı zaman toplam güç önemli olur.)

Tam bir ipin kopması ile bir ampulün çalışmamasını önlemek için, seri bağlanmış ışıklı iplerden oluşan ve "minyatür" olarak isimlendirilen yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Çözüm devredeki bir sıkıntıdan sonra filamanın çapraz bağlantısını (atlayıcı olarak isimlendirilen) meydana getir-

³Bunlar ve diğer ev cihazları ile ilgili olan Örnek 28.6'daki gibi ve bu bölümün ilk resminde görülen mutfak uygulamaları gerçekte alternatif akımla (ac) çalışır. ac'ye Bölüm 33'te girilecektir.

mektir. (Şayet, devredeki başarısızlıktan önce flaman üzerinden karşı tarafa geçecek alternatif bağlantı mevcutsa, her bir ampul paralel bir devreyi temsil edecektir. Bu devrede, akım kısa devre biçiminde alternatif bağlantı içerisinde akacak ve ampul ışımayacaktır.) Bu minyatür, ampullerin birisinde flaman kesilirse, ampulün uçları arasında 120V görünür. Çünkü ampulde akım yoktur ve bu yüzden diğer ampullerde potansiyel düşmesi meydana gelmez. Ampulün iç kısmında, yalıtkan bir malzemeyle çevrilmiş küçük bir ilmek şeklinde flaman etrafı bağlantı telleriyle sarılmıştır. Ampulün üzerinde 120V görüldüğünde, yani flaman çalışmadığı zaman, yay şeklinde olan bir tel yalıtkanı ve bağlantı flamanını alev alev yakar. Bu kısa devre şimdi aktif olmayan bu ampul üzerinden devreyi tamamlar. (Şekil 28.10)



Şekil 28.10 (a) "Minyatür" bir yılbaşı lambası resmi; flaman bozulursa akımı sağlayacak atlayıcısı ile birlikte. (b) Christmas ağacı lambası (George Semple)

Minyatür, ışıklı ipteki 50 ampulün hepsinin çalıştığını kabul ediniz. Her bir ampul üzerinde 2,4 V'luk potansiyel düşmesi meydana gelir. Çünkü ampuller seri bağlıdır. Ampulün bu tipinde güç girişi 0,34 W'tır, böylece tel üzerine uygulanan toplam güç yalnızca 17W'tır. Biz çalışma sıcaklığında filamanın direncini $(2,4 \text{ V})^2 / (0,34 \text{ W}) = 17 \Omega$ olarak hesaplarız. Ampul bozulduğu zaman onun hattı üzerindeki çapraz direnç, önceki paragrafta bahsedilen alternatif atlayıcı bağlantıdan dolayı sıfıra indirgenir. Diğer bütün ampuller yalnızca çalışır kalmaz, toplam direncin azalmasından dolayı her bir ampul üzerindeki akımın artması neticesinde daha parlak bir şekilde ışıma yapar.

Farz edelim ki, ampulün sıcaklığı arttıkça, çalışma direnci 17Ω da sabit kalıyor. Şayet bir ampul kesilirse, değişmeyen ampullerin her biri üzerindeki potansiyel düşmesi 2,45 V'a çıkar ve akım değeri 0,142 A'den 0,145 A'e yükselir ve böylece güç 0,54 W'a çıkar. Daha fazla ışık kesilirken, akım her zaman için yükselir, her bir ampulün flamanı daha yüksek sıcaklıkta çalışır ve ampulün dayanma zamanı azalır. Bütün ampullerin dayanma zamanını maksimum yapmak için, onları mümkün olduğu kadar kısa süre için yerleştirmek ve seri bağlı ipteki gibi ampullerin kesik olup olmadığını kontrol etmek iyi bir fikirdir.

28.3 KIRCHHOFF KURALLARI

Bir önceki kesimde gördüğümüz gibi, basit devreler, $\Delta V = IR$ eşitliği ve dirençlerin seri ve paralel bağlanmalarına ait kurallar kullanılarak çözümlenebilir. Bir devreyi tek bir kapalı devreye indirmek her zaman mümkün değildir. Daha karmaşık devrelerin analizi, **Kirchhoff kuralları** olarak bilinen iki basit kuralın kullanılmasıyla büyük ölçüde basitleştirilebilir. Bu kurallar şöyledir:

1. Herhangi bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, bu düğüm noktasından çıkan akımların toplamına eşit olmalıdır:

$$\sum I_{\text{gel}} = \sum I_{\text{çık}} \quad (28.9)$$



Gustav Kirchhoff (1824-1887)

Almanya, Heidelberg'te profesör olan Kirchhoff ve Robert Bunsen spektroskopu icat ettiler ve Bölüm 40'da göreceğimiz spektroskopu bilimini kurdular. Sezyum ve rubidyum elementlerini keşfettiler ve astronomi ile ilgili spektroskopiyi icat ettiler. Kirchhoff ayrıca, soğuk bir maddenin ısıtılmasıyla yayınlayacağı aynı dalga boyulu ışığı yine kendisi tarafından soğuracağını belirten Kirchhoff kuralını formüle etti. (AIP ESVA/W.F. Magers Kolleksiyonundan)

Ev Deneyi

Kendi kendini kesmeyen keyfi biçimli kapalı bir ilmek çizin. İlmek üzerinde a , b , c , d ve e gibi beş nokta işaretleyiniz ve her bir noktaya rastgele sayılar veriniz. Şimdi a noktasından çalışmaya başlayınız ve belirlediğiniz her bir çift arasındaki potansiyel farkını ilmek üzerinde hesaplayınız. Bu potansiyel farklarının bazıları pozitif, bazıları negatif olacaktır. Cebirsel işaretleri hassas bir şekilde dikkatle takip ederek potansiyel farklarını toplayınız. İlmek boyunca potansiyel farklarının tümünün toplamı nedir?

2. Herhangi bir kapalı devre boyunca bütün devre elemanlarının uçları arasındaki potansiyel farklarının cebirsel toplamı sıfır olmalıdır.

$$\sum_{\text{Kapalı ilmek}} \Delta V = 0$$

(28.10)

Birinci kural, yük korunumunun bir ifadesidir. Yani, herhangi bir noktada yük birikmesi olamayacağından, devredeki verilen bir noktaya ne kadar akım girerse o kadar akım bu noktayı terk etmek zorundadır demektir. Bu kuralı Şekil 28.11a'ya uygularsak,

$$I_1 = I_2 + I_3$$

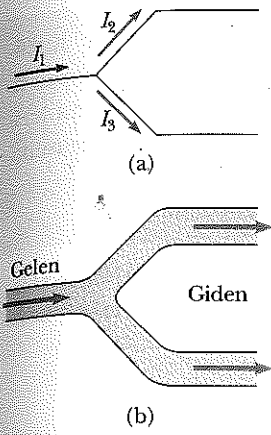
eşitliğini elde ederiz. Şekil 28.11b, bu durumun mekanik bir benzerini temsil etmektedir. Burada su, kollara ayrılan borulardan hiçbir kayıp olmadan akmaktadır. Boruya giren akış hızı, iki koldan çıkan akış hızlarının toplamına eşittir.

İkinci kural enerjinin korunumundan gelmektedir. Enerji korunumuna göre, bir devrede kapalı bir ilmek (halka) boyunca hareket eden herhangi bir yük, başladığı noktaya tekrar geldiğinde, kazandığı enerjilerin toplamı, kaybettiği enerjilerin toplamına eşit olmalıdır. Yükün enerjisi, bir direncin uçları arasında $-IR$ potansiyel düşmesi şeklinde azalır veya bir emk kaynağı içerisinde ters yönde geçirildiğinde azalır. Yük batarya içerisinde negatif uçtan pozitif uca geçtiğinde potansiyel enerji artar. Kirchhoff'un ikinci kuralı yalnızca her bir noktada tanımlanabilen elektriksel potansiyel için uygulanır; şayet elektromanyetik alanlarda değişme varsa, bu kriter geçerli olmayabilir. Bunu Bölüm 31'de göreceğiz.

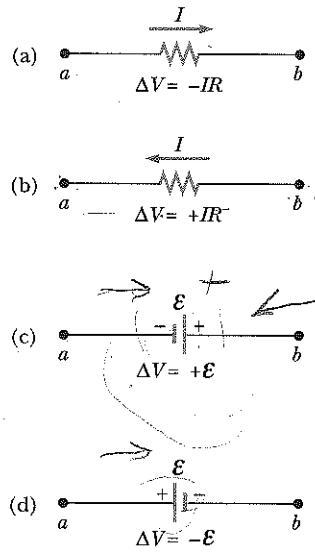
Kirchhoff'un ikinci kuralı, enerjinin korunumuna ilişkindir iddiamızın doğrularken, bir ilmekte yükün taşındığını tasavvur ettik. Bu kuralı uygularken, bir ilmek boyunca *seyahatini* ve *elektriksel potansiyeldeki* değişimi inceleriz, bir önceki paragrafta tanımlanan *potansiyel enerjideki* değişimleri değil. İkinci kuralı uygularken, aşağıdaki işaret anlaşmalarına dikkat edilmelidir:

- Yükler, direncin yüksek potansiyelli ucundan düşük potansiyelli ucuna doğru hareket ettiği için, bir direnç akım yönünde geçiliyorsa, direncin uçları arasındaki ΔV potansiyel değişimi $-IR$ dir (Şekil 28.12a).
- Direnç akımla ters yönde geçiliyorsa, direncin uçları arasındaki ΔV potansiyel değişimi $+IR$ dir (Şekil 28.12b).
- Bir emk kaynağı, emk yönünde (–uçtan + uca doru) geçiliyorsa, potansiyel değişimi $+E$ 'dir (Şekil 28.12c).
- Bir emk kaynağı (iç direnci sıfır farzediyor) emk'nın ters yönünde (+ uçtan –uca doru) geçiliyorsa potansiyeldeki değişim $-E$ dir (Şekil 28.12d). Bu durumda bataryanın emk'sı, içinden geçen elektriksel potansiyeli azaltır.

Düğüm noktası ve kapalı devrenin kullanımında bazı sınırlamalar vardır. Her defasında düğüm noktasına ait bir eşitlik yazdığımızda, bu eşitlikte kullanacağımız akım, bir önceki düğüm noktası eşitliğinde kullanmadığımız akım olduğu sürece, düğüm noktası kuralı gereken sıklıkla kullanılabilir. Genel olarak, bir devrede düğüm noktası kuralının kullanım sayısı, devredeki düğüm noktası sayısından bir azdır. Her bir yeni eşitlikle, yeni bir devre elemanı (Direnç veya akü gibi) veya yeni bir akım bulunduğu sürece, bu kural gereken sıklıkla



Şekil 28.11 (a) Kirchhoff'un düğüm kuralı. Yük korunumuna göre, düğüm noktasına ne kadar akım girerse o kadar akım da terk etmelidir. Bu nedenle, $I_1 = I_2 + I_3$ olur. (b) Düğüm kuralının mekanik benzeri: Tek bir kolan giren akışkan miktarı kollarından çıkan akışkan miktarına eşittir.



Şekil 28.12 Bir direnç ve bir bataryanın uçları arasındaki potansiyel değişimlerini belirleme kuralları. Burada bataryanın iç direncinin olmadığını varsayıyoruz. Her devre elemanı soldan sağa doğru geçiriliyor.

lıkla kullanılabilir. Genel olarak, **belirli bir devre problemini çözmek için ihtiyac duyacağınız bağımsız denklemlerin sayısı, en azından bilinmeyen niceliklerin sayısına eşit olmalıdır.**

Birçok ilmek ve düğüm noktası bulunan karmaşık şebekelerde çok sayıda bağımsız lineer denklemler ve bunlara karşılık gelen çok sayıda bilinmeyenler bulunur. Böyle durumların üstesinden gelebilmek için uygun matris cebiri kullanılır. Devredeki bilinmeyenleri çözmek için bilgisayar programları da yazılabilir.

Aşağıdaki örnekler devre analizinde Kirchhoff kurallarının nasıl kullanılacağını göstermektedir. Bütün durumlarda devrenin kararlı -durum şartlarına ulaştığı varsayılıyor. Yani akım, devredeki çeşitli kollarında sabittir. Şayet bir kondansatör devrenin kollarından birine bir devre elemanı olarak bağlanırsa, **bu bir açık devre gibi rol oynar.** Yani, kondansatör bulunduran koldaki akım, kararlı -durumda sıfır olacaktır.

Problem Çözümünde İpuçları

Kirchhoff Kuralları

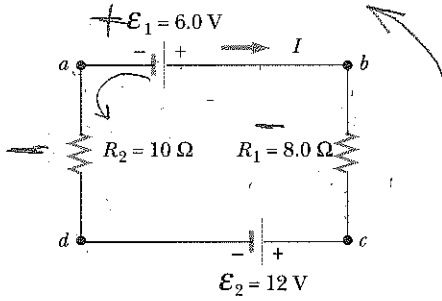
- İlk olarak bir devre diyagramı çizin ve bilinen, bilinmeyen bütün nicelikleri bu diyagram üzerinde işaretleyiniz. Devrenin her bir kısmındaki akım için bir *yön* belirlemelisiniz. Bir akımın yönünü yanlış tahmin ederseniz hemen paniğe kapılmayınız. Zira sonuç, bulduğunuz değerin negatifi olacaktır; fakat *büyüklik bakımından sonucunuz doğrudur*. Her ne kadar akım yönünün belirlenmesi keyfi olsa da Kirchhoff kurallarını uygularken yön belirlemeyi ciddi bir iş olarak görmelisiniz.
- Düğüm kuralını (Kirchhoff'un birinci kuralı), devredeki çeşitli akımlar arasındaki ilişki kurabileceğiniz herhangi bir düğüm noktasına uygulayınız.

- Şimdi, bilinmeyenlerin çözümü için ihtiyacınız kadar ilmeğe Kirchhoff'un ikinci kuralını uygulayınız. Bu kuralı uygulamak için, kapalı ilmeği her bir devre elemanı boyunca geçerken (saat yönünde veya tersi yönünde), potansiyeldeki değişimleri doğru bir şekilde belirlemelisiniz. İşaretlere çok dikkat ediniz.
- Bilinmeyen nicelikleri elde etmek için denklemleri çözünüz.

ÖRNEK 28.7 Tek İlmeekli Bir Devre

Tek-ilmeekli bir devre, Şekil 28.13'de gösterildiği gibi iki tane direnç ve iki tane emk kaynağı içermektedir. Bataryanın iç-direncini ihmal ediniz. (a) Devredeki akımı bulunuz.

Çözüm Bu basit devreyi analiz etmek için Kirchhoff kurallarına ihtiyaç duyulmaz, fakat nasıl uygulandıklarını görmek üzere kullanmak isteyelim. Bu tek-ilmeekli devrede düğüm noktası yoktur. Bu nedenle akım, bütün devre elemanlarında aynıdır. Akımın Şekil 28.13'de gösterildiği gibi saatin dönme yönünde olduğunu farz edelim. Devreyi, a noktasından başlayarak saatin dönme yönünde dolaşırsak, $a \rightarrow b$ arası $+\mathcal{E}_1$ kadarlık bir potansiyel değişimini temsil eder. $b \rightarrow c$ arası $-IR_1$ kadarlık bir potansiyel değişimini, $c \rightarrow d$ arası $-\mathcal{E}_2$ kadarlık bir potansiyel değişimini ve $d \rightarrow a$ arası da $-IR_2$ kadarlık bir potansiyel değişimini temsil eder. Kirchhoff'un ikinci kuralını uygularsak,



Şekil 28.13 İki batarya ve iki dirençten oluşan bir devre. Burada bataryaların kutupları birbirlerine zıttır.

$$\Sigma \Delta V = 0$$

$$\mathcal{E}_1 - IR_1 - \mathcal{E}_2 - IR_2 = 0$$

elde edilir. Bu denklemi I 'ya göre çözüp Şekil 28.13'de verilen değerleri kullanırsak,

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2} = \frac{6.0 \text{ V} - 12 \text{ V}}{8.0 \Omega + 10 \Omega} = -0.33 \text{ A}$$

buluruz. I 'nın negatif olması, akım yönünün kabul edilen yönün tersi olduğunu göstermektedir.

(b) Her bir dirençte kaybolan güç nedir? 12-V'luk bir bataryanın verdiği güç nedir?

$$\mathcal{P}_1 = I^2 R_1 = (1/3 \text{ A})^2 (8 \Omega) = 0.87 \text{ W}$$

$$\mathcal{P}_2 = I^2 R_2 = (1/3 \text{ A})^2 (10 \Omega) = 1.1 \text{ W}$$

O halde dirençlere verilen toplam güç $\mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2 = 2 \text{ W}$ 'tır. 12 V'luk bataryanın $I\mathcal{E}_2 = 4 \text{ W}$ 'lık güç verir. Bu gücün yarısı dış dirençlere verilmektedir. Diğer yarısı da, 12 V'luk batarya tarafından 6 V'luk bataryanın şarj edilmesi için harcanmaktadır. İç dirençleri de dahil etseydik, gücün bir kısmı bataryalar içerisinde ısı olarak harcanırdı ve 6 V'luk bataryaya daha az güç verilmiş olurdu.

ÖRNEK 28.8 Kirchhoff Kurallarının Uygulanması

Şekil 28.14'te gösterilen devredeki I_1 , I_2 ve I_3 akımlarını bulunuz.

Çözüm Bu devreyi, dirençleri seri veya paralel bağlayarak basit bir şekle indirgeyemeyeceğimize dikkat ediniz. Bu devreyi çözebilmek için Kirchhoff kurallarını uygulamalıyız. Akımların yönlerini Şekil 28.12'de gösterildiği gibi seçelim. Kirchhoff'un birinci kuralının c düğüm noktasına uygularsak şöyle yazabiliriz:

$$(1) \quad I_1 + I_2 = I_3$$

Üç tane bilinmeyenimiz I_1 , I_2 ve I_3 akımlarıdır. Bu devrede $abcd$, $befcb$ ve $aefda$ (dış devre) olmak üzere üç tane ilmek görülmektedir. Bilinmeyen akımları bulmak için sadece iki tane ilmek denkleminde ihtiyaç vardır. (Üçüncü ilmek denklemi bize yeni bir bilgi vermez.) Kirchhoff'un ikinci kuralı $abcd$ ve $befcb$ kapalı devrelerine uygulanır ve bu kapalı devreleri saat yönünde dolaşırsak, aşağıdaki ifadeleri elde ederiz:

$$(2) \quad abcd \text{ ilmeği: } 10 \text{ V} - (6 \Omega) I_1 - (2 \Omega) I_3 = 0$$

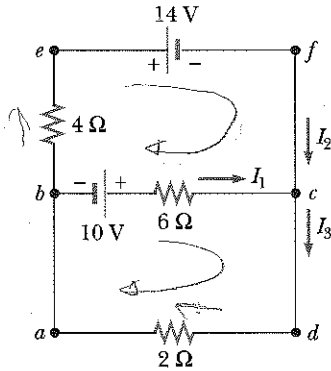
$$(3) \quad befcb \text{ ilmeği: } -14 \text{ V} - 10 \text{ V} + (6 \Omega) I_1 - (4 \Omega) I_2 = 0$$

defedilmeğinde $6\ \Omega$ 'luk direnç geçilirken, pozitif işaret elde edileceğine dikkat ediniz. Çünkü burada izlenen yolun yönü, I_1 akımının yönüyle zıttır. (1), (2) ve (3) ifadeleri, üç tane lineer bağımsız denklemdir ve üç bilinmeyeni vardır. (1)'i (2)'de yerine koyarsak,

$$10\text{ V} - 6I_1 - 2(I_1 + I_2) = 0$$

$$(4) \quad 10\text{ V} = (8\ \Omega)I_1 + (2\ \Omega)I_2$$

elde ederiz. (3)'teki her terimi 2'ye bölüp, eşitliği tekrar düzenlersek



Şekil 28.14 Üç ilmek içeren bir devre.

$$(5) \quad -12\text{ V} = -(3\ \Omega)I_1 + (2\ \Omega)I_2$$

bulunur. (4)'ten (5)'i çıkarıp I_2 'yi yok edersek

$$22\text{ V} = (11\ \Omega)I_1$$

$$I_1 = 2\text{ A}$$

elde edilir. I_1 'in bu değerini (5) de kullanırsak, I_2 için

$$(2\ \Omega)I_2 = (3\ \Omega)I_1 - 12\text{ V} = (3\ \Omega)(2\text{ A}) - 12\text{ V} = -6\text{ V}$$

$$I_2 = -3\text{ A}$$

elde ederiz. Son olarak,

$$I_3 = I_1 + I_2 = -1\text{ A}$$

olduğu görülür. I_2 ve I_3 'ün her ikisinin de negatif işaretli olması, sadece bu akımların yönünü yanlış seçmemizden kaynaklanmaktadır. Fakat sayısal değerler doğrudur. Akımın yönünü Şekil 28.14'teki gibi alıp, halkaları (ilmekleri) ters yönde dolaşmış olsa idik ne olurdu?

Alıştırma b ve c noktaları arasındaki potansiyel farkını bulunuz.

Cevap 2V.

ÖRNEK 28.9 Çok İlmekli Devre

(a) Şekil 28.15'deki çok-ilmekli devrenin I_1 , I_2 ve I_3 akımlarını kararlı durumda değerlerini bulunuz.

Çözüm İlk olarak kondansatörün bir açık devreyi temsil ettiğine ve böylece kararlı durum şartları altında g ve b arasında $ghab$ yolu boyunca akımın olmadığına dikkat edelim. Bu yüzden I_1 ile ilgili yükler g ye geldiğinde, onlar 8 V'luk batarya üzerinden b ye doğru giderler. Dolayısıyla $I_{gb} = I_1$ dir. Akımları Şekil 28.15'de görüldüğü gibi işaretler ve Kirchhoff'un birinci kuralını c düğüm noktasına uygularsak,

$$(1) \quad I_1 + I_2 = I_3$$

elde ederiz. Kirchhoff'un ikinci kuralını (Eş. 28.10 u) $defcd$ ve $cfghc$ kapalı devrelerine uygulanırsa (saatin dönme yönünde)

$$(2) \quad defcd \text{ ilmeği: } 4\text{ V} - (3\ \Omega)I_2 - (5\ \Omega)I_3 = 0$$

$$(3) \quad cfghc \text{ ilmeği: } 8\text{ V} - (5\ \Omega)I_1 + (3\ \Omega)I_2 = 0$$

bulunur. (1) ifadesinden $I_1 = I_3 - I_2$ olur. Bunu (3)de yerine yazılırsa

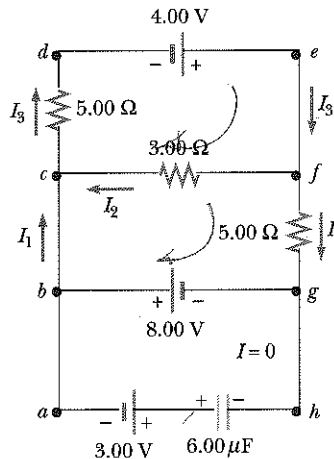
$$(4) \quad 8\text{ V} - (5\ \Omega)I_3 + (8\ \Omega)I_2 = 0$$

elde edilir. (2)'den (4)'ü çıkarıp, I_3 'ü yok edersek

$$I_2 = -\frac{4,00\text{ V}}{11,0\ \Omega} = -0,364\text{ A}$$

buluruz. I_2 negatif olduğundan I_2 akımının, $3\ \Omega$ 'luk direnç

üzerinden c 'den f 'ye doğru olduğu sonucuna varırız. Fakat aynı akım yönünün bu izahına rağmen, daha sonraki hesaplamalarda, I_2 'nin bulunan bu negatif değeri kullanılmaya devam edilmelidir; çünkü eşitliklerimiz ilk yön seçimimize göre kurulmuştur. $I_2 = -0,364\text{ A}$ değerini (3) ve (1)'de



Şekil 28.15 Çok-ilmekli devre. Kirchhoff'un ilmek kuralı bir kondansatörü içermek üzere herhangi bir kapalı devreye uygulanabilir.

kullanırsak, I_1 ve I_3 için aşağıdaki değerleri elde ederiz:

$$I_1 = 1,38 \text{ A} \quad I_3 = 1,02 \text{ A}$$

Kararlı durumda kondansatör bir açık devreyi temsil eder. ve bu yüzden ghab kolundan hiç akım geçmez.

(b) Kondansatör üzerindeki yük nedir?

Çözüm Kondansatörün uçları arasındaki ΔV_c potansiyel farkını bulmak için *bghab* kapalı ilmeğine (veya kondansatör ihtiva eden her hangi bir kapalı devreye) Kirchhoff'un ikinci kuralını uygulayabiliriz. Bu potansiyel farkını işaret anlaşmasına bakmadan denkleme ekleriz çünkü yük, sadece potansiyel farkının büyüklüğüne bağlıdır. Saat yönünde ilmeği dolaşırsak,

$$-8 \text{ V} + \Delta V_c - 3 \text{ V} = 0$$

$$\Delta V_c = 11,0 \text{ V}$$

olur. $Q = C\Delta V_c$ olduğundan (bakınız Eşitlik 26.1), kondansatör üzerindeki yükü

$$Q = (6 \mu\text{F})(11,0 \text{ V}) = 66,0 \mu\text{F}$$

olarak buluruz. Neden kondansatörün sol tarafı pozitif olarak yüklenmiştir?

Alıştırma Bir başka ilmek üzerinden dolaşırsak (en dış ilmek gibi) kondansatörün uçları arasındaki gerilimi buluruz.

Cevap 11,0V

Alıştırma 3,00V'luk bataryanın uçlarını ters çeviriniz ve (a) ve (b) şıklarını cevaplayınız

Cevap (a) $I_1 = 1,38 \text{ A}$, $I_2 = -0,364 \text{ A}$ ve $I_3 = 1,02 \text{ A}$
(b) $30 \mu\text{C}$

28.4 RC DEVRELERİ

Şu ana kadar *kararlı-durum devreleri* ya da sabit akımlı devrelerle ilgilendik. Şimdi, akımın zamanla değişebildiği kondansatörlü devreleri inceleyeceğiz. Bir kondansatör ve bir direncin seri bağlanması ile oluşan devreye **RC devresi** denir.

Bir Kondansatörün Yüklenmesi

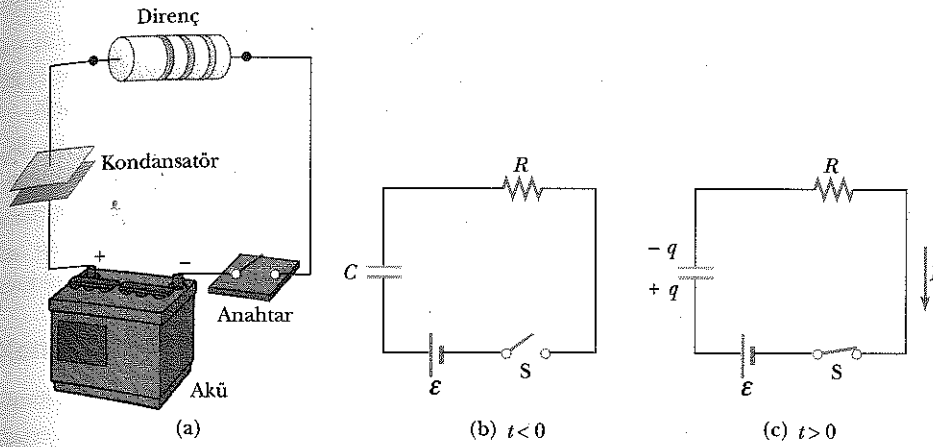
Şekil 28.16'daki devrede başlangıçta kondansatörün yüksüz olduğunu varsayalım. S anahtarı açık iken akım yoktur (Şekil 28.16b). Anahtar $t = 0$ anında kapatılırsa, yükler akmaya başlayarak devrede bir akım meydana getirecek ve kondansatör yüklenmeye başlayacaktır.⁴ Yüklenme işlemi esnasında, kondansatör levhaları arasındaki boşluk bir açık devreyi temsil ettiğinden, yüklerin levhalar arasındaki boşluğu atlayıp karşı levhaya geçemeyeceklerine dikkat ediniz. Fakat bir levhadan diğerine yük transferi, kondansatör tamamen yüklenene kadar, direnç, anahtar ve batarya üzerinden sağlanır. Levhalar yüklenirken, kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı artar. Maksimum yükün değeri bataryanın emk'ine bağlıdır. Maksimum yüke ulaşıldığında devredeki akım sıfır olur; çünkü kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı, bataryadan sağlanan kadardır.

Bu tartışmayı nicel bir temele oturtmak için, anahtar kapatıldıktan *sonra*ki durum için Kirchhoff'un ikinci kuralını uygulayalım. O zaman

$$\mathcal{E} - \frac{q}{C} - IR = 0 \quad (28.11)$$

yazılabilir. Buradaki IR direncin uçları arasında, q/C de kondansatörün uçları

⁴Kondansatörlerle ilgili önceki tartışmada, kararlı hal durumunda kondansatörün bulunduğu koldan akımın geçmeyeceğini kabul ettik. Şimdi, kararlı hal durumunun gerçekleştirilmeden önceki durumu düşünüyoruz; bu durumda, yükler hareket edecek ve kondansatörün bağlı olduğu tellerde akım oluşacaktır.



Şekil 28.16 (a) Bir direnc, bir batarya ve bir anahtar ile seri bağlı bir kondansatör. (b) Anahtar kapatılmadan önce ($t < 0$), bu sistemi temsil eden devre diyagramı. (c) Anahtar kapatıldıktan sonraki ($t > 0$) devre diyagramı.

arı arasındaki potansiyel düşmesidir. $\mathcal{E}$ ve IR nin işaretlerinin nasıl olacağını daha önce tartıştık. Kondansatör için, pozitif plakadan negatif plakaya doğru gidilmesi, potansiyelin düşmesini temsil eder. Sonuçta Eş. 28.11 de potansiyelin işareti negatif olur. I ve q kondansatör yükleniyorkenki anı değerlerdir (kararlı durumun tersine) ve zamana bağlıdır.

Eş. 28.11, devredeki akımın başlangıç değerini ve kondansatör üzerindeki maksimum yükü bulmak için kullanabilir. Anahtar kapatıldığı anda, yani $t = 0$ anında, kondansatör üzerindeki yük sıfırdır ve 28.11 Eşitliğinden, akımın I_0 başlangıç değerinin maksimum ve

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (t = 0 \text{ daki akım}) \quad (28.12)$$

Maksimum akım

olduğu görülür. Bu anda, potansiyel düşmesi tümüyle direncin uçları arasında oluşur. Daha sonra kondansatör maksimum Q değerine kadar yüklendiğinde, yük akışı durur yani devredeki akım sıfır olur ve potansiyel düşmesi bu defa tümüyle kondansatörün uçları arasında oluşur. $I = 0$ 'ı Eş. 28.11'de yerine koyarsak Q için aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$Q = C\mathcal{E} \quad (\text{maksimum yük}) \quad (28.13)$$

Kondansatördeki maksimum yük

Yük ve akımın zamana bağlı analitik ifadelerini bulmak için, q ve I 'yi içeren 28.11 Denklemine çözmemiz gerekir — q ve I gibi iki değişkeni olan tek bir denklem. Seri devrelerin bütün kısımlarında akım aynı olmalıdır. O halde R direncindeki akım, kondansatör plakalarına giren ve çıkan akımla aynı olmalıdır. Bu akım kondansatör levhaları üzerindeki yükün zamana göre değişimine eşittir. Buna göre, $I = dq/dt$ yi Eş. 28.11 de yerine yazar ve düzenlersek,

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC}$$

eşitliğini elde ederiz. q için bir ifade bulmak üzere, eşitliğin sağ tarafının paydalarını eşitleriz:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC} = -\frac{q - C\mathcal{E}}{RC}$$

Şimdi bu denklemi dt ile çarpar $q - C\mathcal{E}$ ile bölersek,

$$\frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{1}{RC} dt$$

denklemini elde ederiz. $t = 0$ da $q = 0$ gerçeğini kullanarak bu ifadenin integralini alırsak,

$$\int_0^q \frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\ln \left(\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}} \right) = -\frac{t}{RC}$$

elde ederiz. Doğal logaritmanın tanımından bu ifadeyi,

$$q(t) = C\mathcal{E} (1 - e^{-t/RC}) = Q(1 - e^{-t/RC}) \quad (28.14)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada e , doğal logaritmanın tabanıdır ve Eş. 28.13'teki $C\mathcal{E} = Q$ değerini kullandık.

28.14 Eşitliğinin zamana göre diferansiyelini alarak, yüklenme akımı için bir ifade bulabiliriz. $I = dq/dt$ yi kullanarak,

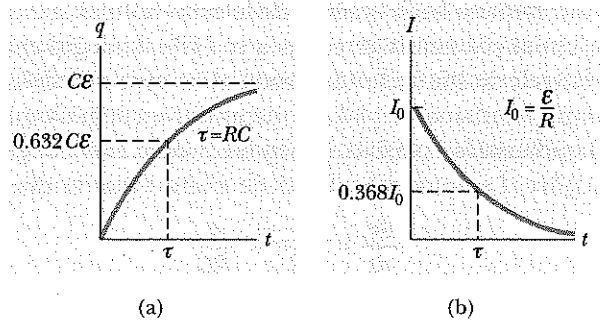
$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} \quad (28.15)$$

buluruz.

Kondansatör yükünün ve devre akımının zamana göre grafikleri Şek. 28.17'de gösterilmiştir. Yükün, $t = 0$ 'da sıfır olduğuna ve $t \rightarrow \infty$ olurken, $C\mathcal{E}$ maksimum değerine yaklaştığına dikkat ediniz. Bunun yanı sıra, akım $t = 0$ 'da $I_0 = \mathcal{E}/R$ maksimum değerindedir ve $t \rightarrow \infty$ olurken üstel olarak sıfıra doğru azalmaktadır. Eş. 28.14 ve Eş. 28.15 in üstel terimlerinde ortaya çıkan RC niceliğine devrenin **τ zaman sabiti** denir. Bu, akımın, başlangıç değerinin $1/e$ katına düşmesi için geçen zamanı gösterir. Yani τ zamanında $I = e^{-1} I_0 = 0,368 I_0$ olması demektir. 2τ zamanında, $I = e^{-2} I_0 = 0,135 I_0$ olur ve azalma böyle gider. Benzer şekilde yük de, τ zamanında sıfırdan $C\mathcal{E}(1 - e^{-1}) = 0,632 C\mathcal{E}$ değerine yükselecektir.

Aşağıdaki boyut analizi, τ 'nın zaman biriminde olduğunu göstermektedir:

$$[\tau] = [RC] = \left[\frac{\Delta V}{I} \times \frac{Q}{\Delta V} \right] = \left[\frac{Q}{Q/\Delta t} \right] = [\Delta t] = T$$



Şekil 28.17 (a) Şekil 28.16'da gösterilen devre için kondansatör yükünün zamana göre grafiği. τ zaman sabiti kadar süre sonra yük, $C\mathcal{E}$ maksimum değerinin % 63,2'si olur. Yük maksimum değerine, t sonsuza giderken yaklaşıp. (b) Şekil 28.16'da gösterilen RC devresi için akımın zamana göre grafiği. $t = 0$ 'da akım $I_0 = \mathcal{E}/R$ maksimum değerine sahiptir ve t sonsuza yaklaşıp üstel olarak sıfıra düşer. Bir τ zaman sabiti süre sonra akım, ilk değerinin %36,8'ine düşer.

$\tau = RC$ zaman birimine sahip olduğundan, t/RC boyutsuzdur. Eş. 28.14 ve Eş. 28.15 teki e 'nin üssü de böyledir.

Kondansatörün yüklenmesi tamamlandığında bataryanın verdiği enerji, $QE = C\mathcal{E}^2$ dir. Kondansatör tamamen yüklendikten sonra, kondansatör içerisinde depolanan enerji, $\frac{1}{2}QE = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2$ dir ki bu, batarya tarafından sağlanan enerjinin tam olarak yarısıdır. Batarya tarafından sağlanan enerjinin geri kalan yarısının, direnç içerisinde iç enerji olarak görüneceğini göstermek, bir problem olarak bırakılmıştır (Problem 60).

Kondansatörün Boşalması

Şimdi başlangıçtaki yükü Q olan bir kondansatör, bir direnç ve bir anahtardan ibaret olan Şekil 28.18'deki devreyi inceleyelim. Kondansatör tam olarak dolduktan sonra, yük boşalması olmadıkça (daha önce anlatıldığı gibi), başlangıç yükü, önceki tartışmadaki maksimum Q yükü ile aynı değildir. Anahtar açıkken, kondansatörü uçlarında Q/C kadarlık bir potansiyel farkı vardır ve $I = 0$ olduğundan direncin uçlarındaki potansiyel farkı sıfırdır. $t = 0$ 'da anahtar kapatılırsa, kondansatör direnç üzerinden boşalmaya başlar. Boşalma esnasındaki herhangi bir anda, devredeki akım I ve kondansatör üzerindeki yük q dür (Şekil 28.18b). Bataryanın yokluğu hariç, Şekil 28.18'deki devre, Şekil 28.16'daki devreyle aynıdır. O halde, Şekil 28.18'deki devre için uygun ilmek denklemini elde etmek üzere Eş. 28.11 den $\mathcal{E}$ emk'sını ortadan kaldırırız. Yani

$$-\frac{q}{C} - IR = 0 \quad (28.16)$$

olmalıdır. $I = dq/dt$ yi bu ifadede yerine koyarsak,

$$\begin{aligned} -R \frac{dq}{dt} &= \frac{q}{C} \\ \frac{dq}{q} &= -\frac{1}{RC} dt \end{aligned}$$

yazılabilir. $t = 0$ da, $q = Q$ başlangıç şartını kullanarak, bu ifadenin integrali alınırsa,

$$\int_Q^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

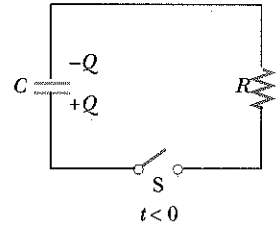
$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

(28.17)

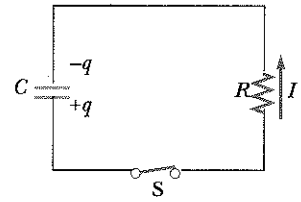
bulunur. Bu ifadenin zamana göre türevini alarak, zamana bağlı (anı) akım ifadesi elde edilir:

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (Qe^{-t/RC}) = -\frac{Q}{RC} e^{-t/RC} \quad (28.18)$$

Burada $I_0 = Q/RC$ başlangıçtaki akımdır. Burada negatif işaret, kondansatör dolarkenki akımın yönü, kondansatör boşalırkenki akımın yönüne zıt olduğunu gösterir. (Şekil 28.16c akımın yönü ile Şekil 28.18b'deki akımın yönünü karşılaştırınız.) Böylece kondansatör üzerindeki yük ve akımın, $\tau = RC$ zaman sabiti ile belirlenen bir hızla üstel olarak değiştiğini görüyoruz.



(a)



(b)

Şekil 28.18 (a) Bir direnç ve bir anahtara bağlı, yüklü bir kondansatör. $t < 0$ da anahtar açıktır. (b) Anahtar kapatıldıktan sonra, gösterilen yönde kararsız bir akım meydana gelir ve kondansatör üzerindeki yük zamanla eksponansiyel olarak azalır.

Boşalan kondansatör için yükün zamana bağlılığı

Boşalan kondansatör için akımın zamana bağlılığı

KAVRAMSAL ÖRNEK 28.10 Aralıklı Oto Cam Silicileri

Pek çok otomobil hafif yağış sırasında aralıklı olarak çalışan oto cam silicileriyle donatılmıştır. Silicilerin bu şekilde çalışması kondansatörün dolması ve boşalmasına nasıl bağlıdır?

Çözüm Siliciler, çok kademeli anahtar içerisindeki R 'nin farklı değerleri seçilerek zaman sabiti değiştirilebilen

RC devresinin bir parçasıdır. Zaman geçtikçe, zaman sabiti τ kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı silicilerin tetikleyen bir noktaya ulaşır ve başka bir yüklenme çevrimini başlatmak üzere boşalır. Her bir kademe arasındaki zaman aralığı, zaman sabitinin değeriyle tayin edilir.

ÖRNEK 28.11 RC Devresindeki Bir Kondansatörün Yüklmesi

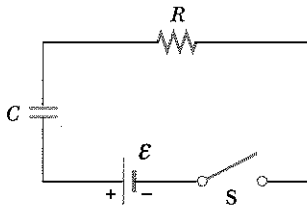
Yüksüz bir kondansatör ve bir direnç Şekil 28.19'daki gibi seri olarak bağlanıyor. $\mathcal{E} = 12,0 \text{ V}$, $C = 5,00 \mu\text{F}$ ve $R = 8 \times 10^5 \Omega$ ise, devrenin zaman sabitini, kondansatör üzerindeki maksimum yükü ve devredeki maksimum akımı bulunuz. Yük ve akımı zamanın fonksiyonu olarak ifade ediniz.

Çözüm Devrenin zaman sabiti $\tau = RC = (8,00 \times 10^5 \Omega)(5,00 \times 10^{-6} \text{ F}) = 4,00 \text{ s}$ 'dir. Kondansatör üzerindeki maksimum yük $Q = C\mathcal{E} = (5 \times 10^{-6} \text{ F})(12 \text{ V}) = 60 \mu\text{C}$ ve devredeki maksimum akım $I_0 = \mathcal{E}/R = (12 \text{ V})/(8 \times 10^5 \Omega) = 15,0 \mu\text{A}$ dir. Bu değerleri ve Eş. 28.14 ve Eş. 28.15'i kullanırsanız

$$q(t) = (60,0 \mu\text{C})(1 - e^{-t/4s})$$

$$I(t) = (15,0 \mu\text{A})e^{-t/4s}$$

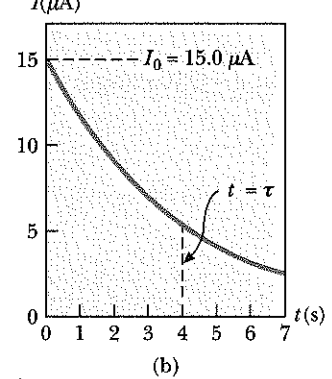
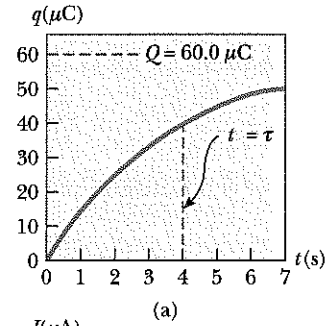
elde edilir. Bu fonksiyonların grafikleri Şekil 28.20'de verilmiştir.



Şekil 28.19 Bu seri RC devresinin anahtarı $t < 0$ anında açık, $t = 0$ 'da kapanıyor.

Alıştırma Bir zaman sabiti kadar süre geçtikten sonra kondansatör üzerindeki yükü ve devredeki akımı hesaplayınız.

Cevap $37,9 \mu\text{C}$; $5,52 \mu\text{A}$



Şekil 28.20 Şekil 28.19'da gösterilen, $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$, $R = 8 \times 10^5 \Omega$ ve $C = 5 \mu\text{F}$ değerlerine sahip RC devresine ait (a) zamana göre yük ve (b) zamana göre akım grafikleri.

ÖRNEK 28.12 Bir RC Devresindeki Kondansatörün Boşalması

Şekil 28.18'deki gibi R direnci üzerinden boşalan bir C kondansatörü veriliyor. (a) Kaç zaman sabitinden sonra kondansatör üzerindeki yük azalması, başlangıç değerinin dörtte birine eşit olacaktır?

Çözüm Kondansatör üzerindeki yük zamanla, Eş. 28.17'ye göre değişir. Yani $q(t) = Q e^{-t/RC}$ dir. Burada Q kondansatör üzerindeki yükün başlangıç değeridir. q 'nin başlangıç değerinin dörtte birine düşmesi için geçen zamanı bulmak için, bu ifadede $q(t) = Q/4$ 'ü yerine yazıp, t 'yi çözersek,

$$\frac{Q}{4} = Qe^{-t/RC}$$

$$\frac{1}{4} = e^{-t/RC}$$

elde ederiz. Her iki tarafın logaritmasını alarak,

$$\ln 4 = -\frac{t}{RC}$$

$$t = RC (\ln 4) = 1,39 RC = 1,39\tau$$

buluruz.

(b) Kondansatörde depo edilen enerji, kondansatör boşalırken zamanla azalır. Kaç zaman sabitinden sonra bu depo edilmiş olan enerji, başlangıç değerinin dörtte birine düşer?

Çözüm Eş. 26.11 ($U_0 = Q^2/2C$) ve Eş. 28.17'yi kullanarak, herhangi bir anda kondansatörde depolanan enerjiyi,

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{(Qe^{-t/RC})^2}{2C} = \frac{Q^2}{2C} e^{-2t/RC} = U_0 e^{-2t/RC}$$

şeklinde ifade edebiliriz. Burada $U_0 = Q^2/2C$, kondansatörde başlangıçta depo edilen enerjidir. (a) şıkkındaki gibi $U = U_0/4$ için t 'yi çözersek

$$\frac{U_0}{4} = U_0 e^{-2t/RC}$$

$$\frac{1}{4} = e^{-2t/RC}$$

elde edilir. Yine her iki tarafın logaritmasını alır ve t 'yi çözersek

$$t = \frac{1}{2} RC (\ln 4) = 0,693 RC = 0,693\tau$$

bulunur.

Alıştırma Kaç zaman sabitinden sonra RC devresindeki akım ilk değerinin yarısına düşecektir?

Cevap $0,693 RC = 0,693\tau$

ÖRNEK 28.13 Bir Dirence Verilen Enerji

$5 \mu F$ 'lık bir kondansatör, $800 V$ 'luk bir potansiyel farkı ile yüklenmekte ve sonra $25 k\Omega$ 'luk bir direnç üzerinden boşalmaktadır. Kondansatör tamamen boşaldığı zaman, dirençte harcanan toplam enerji ne kadardır?

Çözüm Bu problemi iki yolla çözeceğiz. Gerçekten de oldukça basit olan birinci yol, sistemin başlangıçtaki enerjisinin, $CE^2/2$ ile verilen kondansatörde depo edilen enerjiye eşit olduğuna dikkat etmekten ibarettir (Eş. 26.11'e bakınız). Kondansatör tamamen boşaldığında, içerisinde depo edilen enerji sıfırdır. Enerji korunduğundan, kondansatörde depo edilen başlangıç enerjisi, dirençte harcanan iç enerjiye dönüşür. Cve E 'nin verilen değerlerini kullanırsak,

$$\text{Enerji} = \frac{1}{2} CE^2 = \frac{1}{2} (5,00 \times 10^{-6} F) (800 V)^2 = 1,60 J$$

bulunur.

İkinci metod daha zor, fakat belki daha öğreticidir. Bu, kondansatör direnç üzerinden boşalırken, dirençte enerjinin harcanma hızının $I^2 R$ ile verileceğine dikkat etmektir. Burada I , Eşitlik 28.18 ile verilen ani akımdır. Güç, enerjinin değişim hızı olarak tanımlandığından, dirençteki enerji kaybını $I^2 R dt$ 'nin zaman integraline eşitlemeliyiz:

$$\text{Enerji} = \int_0^\infty I^2 R dt = \int_0^\infty (I_0 e^{-t/RC})^2 R dt$$

olması demektir. Bu integrali hesaplamak için akımın başlangıç değerinin $I_0 = E/R$ ve t hariç bütün parametrelerin sabit olduklarına dikkat edelim. O halde,

$$(1) \quad \text{Enerji} = \frac{E^2}{R} \int_0^\infty e^{-2t/RC} dt$$

bulunur. Bu ifadedeki integral $RC/2$ değerine sahiptir. Böylece,

$$\text{Enerji} = \frac{1}{2} CE^2$$

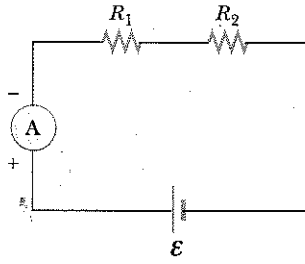
olur. Bu beklendiği üzere daha basit olan birinci metodla uyum içerisinde. İkinci yaklaşımı, anahtar kapatıldıktan sonraki herhangi bir anda kaybolan enerjiyi bulmak için kullanılabileceğine dikkat ediniz. Bunun için integraldeki üst sınır yerine t 'nin özel değeri yazılır.

Alıştırma Eşitlik (1) deki integralin $RC/2$ değerine eşit olduğunu gösteriniz.

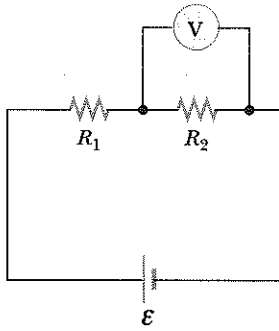
Seçmeli Kesim

28.5 ELEKTRİK ÖLÇEN AYGITLAR

Akım ölçen aygıt **ampermetre** denir. Ölçülecek olan akım, ampermetre içerisinde doğrudan (direkt olarak) geçmelidir. Yani, ampermetre, Şekil



Şekil 28.21 Bir devredeki akım bir direnç ve bir bataryaya seri bağlı bir ampermetre ile ölçülebilir. Bir ideal ampermetre sıfır dirence sahiptir.



Şekil 28.22 Bir direncin uçlarındaki potansiyel farkı, bu dirence paralel bağlı bir voltmetre ile ölçülebilir. İdeal bir voltmetre, sonsuz dirence sahiptir ve devreyi etkilemez.

28.21'deki gibi, devredeki ölçülmesi istenilen öteki elemanlarla seri bağlanmalıdır. Bir ampermetre kullanarak doğru akım ölçerken, akımın, aletin pozitif ucundan girip, negatif ucundan çıkacak şekilde bağlandığından emin olmalısınız.

İdeal halde, bir ampermetrenin ölçülen akımı değiştirmeyecek şekilde sıfır dirence sahip olması gereklidir. Şekil 28.21'de gösterilen devrede bu şart, ampermetrenin direncinin, $R_1 + R_2$ ile karşılaştırıldığında küçük olmasını gerektirir. Bütün ampermetreler bir miktar dirence sahip olduğundan, devrede ampermetre varken, ampermetrenin olmadığı duruma göre akımın değeri biraz daha düşük olacaktır.

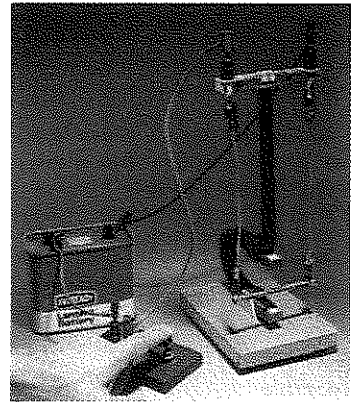
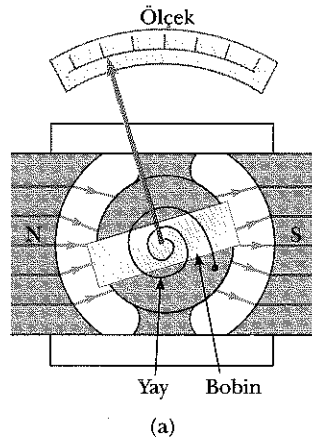
Voltmetre

Potansiyel farkını ölçen alete **voltmetre** denir. Devredeki herhangi iki nokta arasındaki potansiyel farkı, Şekil 28.22'deki gibi, devreyi kesmeden bu noktalar arasına bir voltmetrenin uçlarını tutturarak ölçülebilir. R_2 direncinin uçları arasındaki potansiyel farkı, voltmetreyi R_2 ile paralel bağlamak suretiyle ölçülür. Yine, aletin kutuplarına dikkat etmek gereklidir. Voltmetrenin pozitif ucu, direncin daha yüksek potansiyele sahip ucuna, negatif ucu da direncin düşük potansiyelli ucuna bağlanmalıdır.

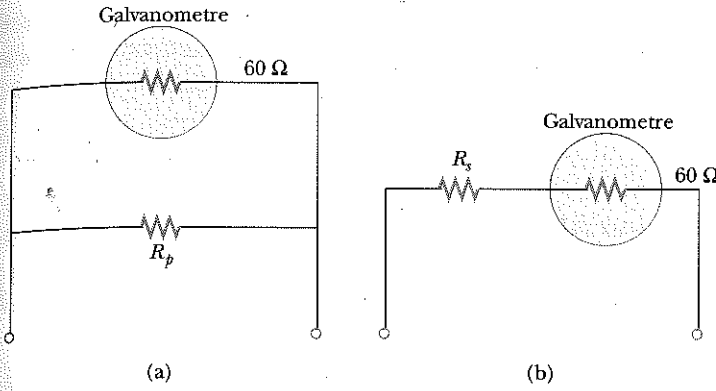
İdeal bir voltmetre içerisinde akım geçmeyecek kadar sonsuz büyük bir dirence sahiptir. Şekil 28.22'de, bu şart, voltmetrenin R_2 ile karşılaştırıldığında çok büyük dirence sahip olmasını gerektirir. Pratikte, bu şart sağlanmazsa, voltmetrenin bilinen direnci için düzeltme yapılmalıdır.

Galvanometre

Galvanometre, voltmetre ve ampermetrelerin yapımında kullanılan ana parçadır. D Arsonval galvanometresi denilen ve çok rastlanan bir çeşit galvanometrenin ana hatları, Şekil 28.23a'da gösterilmiştir. Bu, bir daimi mıknatıs tarafından sağlanan manyetik alan içerisindeki bir mil üzerinde serbestçe dönebilecek şekilde yerleştirilen, iletken tel bir bobinden ibarettir. Galvanometrenin temel çalışma ilkesi, bir manyetik alandaki akım ilmeği üzerine etki eden dönme momenti (tork) gerçeğini kullanır (Bölüm 29). Bobinin maruz kaldığı dönme momenti (tork), ondan geçen akımla doğru orantılıdır. Bu, daha bü-



Şekil 28.23 (a) Bir D'Arsonval galvanometresinin ana parçaları. Akım, manyetik alana yerleştirilmiş bobinden geçtiğinde, manyetik dönme momenti bobinin dönmesine sebep olur. Bobinin dönme açısı, yayın dönme momentinden dolayı, bobin içerisinde geçen akımla orantılıdır. (b) Galvanometre için kaba bir model. Anahtar kapatılınca bobin, düşey eksen etrafında neden döner? (Jim Lehman'ın izniyle)



Şekil 28.24 (a) Bir galvanometre bir ampermetre olarak kullanıldığında, bir R_p direnci galvanometre ile paralel bağlanır. (b) Galvanometre bir voltmetre olarak kullanıldığında, bir R_s direnci galvanometre ile seri bağlanır.

yük akım daha büyük dönme momenti demektir ve büyük bir tork da yayın yeterince gerilip dönme işlemini durduruncaya kadar bobinin daha fazla dönmesi anlamına gelir. Böylece, sapma miktarı akım ile orantılıdır. Alet uygun bir şekilde kalibre edildiğinde, diğer devre elemanları ile birlikte bağlanarak devredeki akımları veya potansiyel farklarını ölçmek için kullanılabilir.

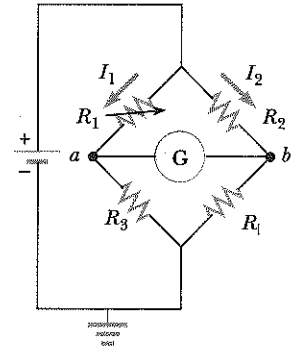
Klasik galvanometreleri, bir ampermetre olarak kullanmak genellikle uygun değildir. Bunun başlıca nedenlerinden biri, tipik bir galvanometrenin yaklaşık 60Ω 'luk bir dirence sahip olmasıdır. Böyle büyük bir dirence sahip ampermetre, bağlandığı devredeki akımı dikkate değer bir ölçüde değiştirir. Bu durum aşağıdaki örneği inceleyerek kolayca anlaşılabilir. Farz edelim ki 3 V luk bir batarya ve 3Ω luk bir dirençle seri bir devre kurmak istiyorsunuz. Böyle bir devredeki akım, 1 A 'dir. Fakat, akım ölçmek üzere, 60Ω 'luk bir galvanometreyi devreye sokarsanız, devrenin toplam direnci bu sefer 63Ω olacaktır ve akım $0,048 \text{ A}$ 'e düşecektir.

Bir galvanometrenin bir ampermetre olarak kullanılmasını sınırlandıran ikinci faktör şudur: Tipik bir galvanometre, 1 mA veya daha düşük mertebedeki akımlar için tüm ölçek boyunca saparlar. Sonuç olarak, bu tür bir galvanometre bu mertebeden daha büyük akımları ölçmek için doğrudan kullanılamaz. Ancak, bir galvanometre, Şekil 28.24a'daki gibi ona paralel bir R_p direnci bağlayarak gayet basit bir şekilde bir ampermetreye dönüştürülebilir.

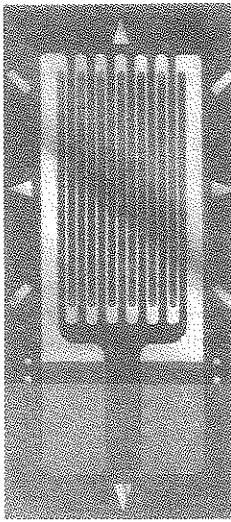
Bir galvanometre, Şekil 28.24b'deki gibi, seri bağlı bir R_s direnci eklemek suretiyle voltmetre olarak da kullanılabilir. Bu durumda dış direnç, galvanometrenin direnci ile kıyaslandığında çok büyük bir değere sahip olmalıdır. Bu, ölçülen voltajın önemli ölçüde değişmemesini sağlayacaktır.

Wheatstone Köprüsü

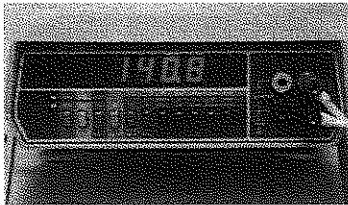
Bilinmeyen dirençler, **Wheatstone köprüsü** olarak bilinen bir devre kullanılarak hassas olarak ölçülebilir (Şekil 28.25). Bu devre, R_x bilinmeyen direnç, R_1 , R_2 ve R_3 bilinen dirençler (burada R_1 kalibre edilmiş değişken bir dirençtir), bir galvanometre ve bir emk kaynağından ibarettir. Bilinen R_1 direnci, galvanometre sıfır akım gösterene kadar değiştirilir yani, a 'dan b 'ye doğru olan akım sıfırdır. Bu şartlar altında, köprü dengededir denir. Köprü dengelendiğinde, a noktasındaki potansiyel b noktasındaki potansiyele eşit olması gerek-



Şekil 28.25 Wheatstone köprüsünün devre şeması. Bu devre genellikle bir R_x bilinmeyen direncinin, bilinen R_1 , R_2 ve R_3 dirençleri yardımı ile ölçülmesi için kullanılır. Köprü dengelendiğinde, galvanometreden geçen akım sıfır olur. R_1 direnci üzerindeki ok, direncin elle değiştirilebileceğini gösterir.



Deneyisel zor analizleri için kullanılan zor-ölçer, plastik bir tabla üzerine yerleştirilmiş, bobin şeklinde ince bir telden ibarettir. Zorlar, bobindeki sarmımlar eğildiğinde meydana gelen direnç değişikliklerini gözleyerek ölçülür. Wheatstone köprüsünün bir elemanı olarak bir zorlanmaölçer bağlanıp direnç ölçümleri yapılır. Bu aletler, genellikle modern elektronik terazilerde cisimlerin kütlelerini ölçmek için kullanılırlar.



Şekil 28.26 Şekildeki gibi dijital multimetrelerle gerilim, akım ve direnç ölçülür. (Henry Leap ve Jim Lehman'ın izniyle)

tiğinden, R_1 'nin uçlarındaki potansiyel farkı, R_2 'nin uçlarındaki potansiyel farkına eşit olmalıdır. Benzer şekilde, R_3 'ün uçlarındaki potansiyel farkı, R_x 'in uçlarındaki potansiyel farkına eşit olmalıdır. Bu düşüncelerden,

$$(1) \quad I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$(2) \quad I_1 R_3 = I_2 R_x$$

olduğunu görürüz. Akımları yok etmek için (1)'i (2) ile bölüp R_x 'i çözersek

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (28.19)$$

olduğunu buluruz.

Bu tür denge ölçümü yapan pek çok benzer aygıt vardır; örneğin kondansatör köprüsü (bu, bilinmeyen sığa değerlerini ölçmede kullanılır). Bu aletler kalibre edilmiş ölçü aletlerinin kullanımını gerektirmez ve herhangi bir emk kaynağı ile kullanılabilir.

Çok yüksek dirençler ($10^5 \Omega$ dan büyük), ölçülmek istendiğinde, teknik nedenlerle Wheatstone köprüsü metodunun uygulanması zor olur. Modern elektronik aletler $10^{12} \Omega$ 'a kadar yüksek dirençlerin ölçümünü mümkün kılmaktadır. Bu tür aletler, giriş terminalleri arasındaki etkin direnç çok yüksek olacak şekilde tasarlanır. Örneğin, voltaj, akım ve direnç ölçmek için kullanılan dijital multimetrelerin çoğunda $10^{10} \Omega$ 'luk giriş dirençleri bulunur. (Şekil 28.26)

Potansiyometre

Potansiyometre, bilinen bir emk ile kıyaslayarak bilinmeyen $\mathcal{E}_x$ emk'ni ölçmek için kullanılan bir devredir. Şekil 28.27, potansiyometrenin esas kısımlarını göstermektedir. d noktası, a ve d noktaları arasındaki direnci (dolayısıyla potansiyel farkını) değiştirmek üzere düzenlenmiş, sürgülü bir kontağı temsil eder. Bu devrede gerekli diğer parçalar, bir galvanometre, $\mathcal{E}_0$ emk'ne sahip bir güç kaynağı (standart bir pil) ve bilinmeyen $\mathcal{E}_x$ emk kaynağıdır.

Şekil 28.27'de gösterilen yönlerdeki akımlar için, Kirchhoff'un birinci kuralına göre, R_x direncinden geçen akımın $I - I_x$ olduğunu görürüz. Burada I alt koldaki ($\mathcal{E}_0$ emk'li pilden geçen) akım ve I_x , üst koldaki akımdır. Kirchhoff'un ilmek kuralı $abcd$ a kapalı devresine uygulanırsa

$$-\mathcal{E}_x + (I - I_x)R_x = 0$$

yazılabilir. Burada R_x , a ve d noktaları arasındaki dirençtir. d noktasındaki sürgülü kontak, galvanometre sıfırı gösterinceye kadar (yani devre dengeleninceye kadar) ayarlanır. Bu şartlar altında, bilinmeyen güç kaynağındaki ve galvanometredeki akım sıfırdır ($I_x = 0$) ve a ve d noktaları arasındaki potansiyel farkı bilinmeyen $\mathcal{E}_x$ emk'ine eşittir. Yani:

$$\mathcal{E}_x = IR_x$$

Daha sonra, bilinmeyen emk'ya sahip pil yerine bilinen $\mathcal{E}_s$ emk'lı standard bir pil yerleştirilir ve yukarıdaki işlem tekrarlanır. Dengeye ulaşıldığında, a ve d arasındaki direnç R_s ise, o zaman

$$\mathcal{E}_s = IR_s$$

olur. Burada I 'nin aynı kaldığı varsayılıyor. Bu ifadeyi, daha önceki $\mathcal{E}_x = IR_x$ eşitliği ile birleştirirsek,

$$\mathcal{E}_x = \frac{R_x}{R_s} \mathcal{E}_s \quad (28.20)$$

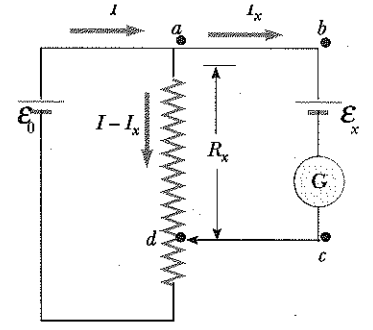
olduğunu görürüz.

Devredeki direnç, ρ öz dirençli bir tel ise, telin direnci, L uzunluğunu değiştirerek üzere sürgülü kontaklar kullanılarak değiştirilebilir. $R_s = \rho L_s / A$ ve $R_x = \rho L_x / A$ yı yerine koyarak Eş. 28.20

$$\mathcal{E}_x = \frac{L_x}{L_s} \mathcal{E}_s \quad (28.21)$$

ifadesine indirgenir. Bu sonuca göre, bilinmeyen $\mathcal{E}_x$ emk'in değeri, iki telin uzunluğu ve standart $\mathcal{E}_s$ emk'in büyüklüğünün ölçülmesiyle ede edilebilir.

Şekil 28.27 deki bilinmeyen emk nin olmadığı sürgülü devre ve galvanometreye bazen *voltaj bölücü* denir. Bu devre, direncin uzunluğunu ayarlayarak, $\mathcal{E}_0$ emk'nin daha az bir kısmını kullanmayı mümkün kılar.



Şekil 28.27 Bir potansiyometreye ait devre şeması. Bu devre, bilinmeyen bir $\mathcal{E}_x$ emk'nin, bir pilin sağladığı bilinen bir $\mathcal{E}_s$ emk'si cinsinden ölçmek için kullanılır.

Seçmeli Kesim

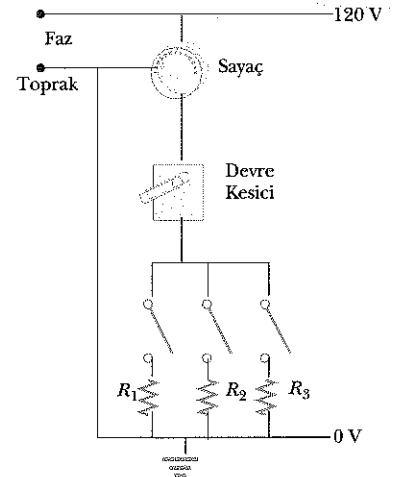
28.6 EV ELEKTRİK TESİSATLARI VE EMNİYETİ

Elektrikli ev aletleri, bu bölümde sunulan devre analizleri ile ilgili bazı fikirlerin pratik uygulamasını temsil eder. Bizim açımızdan önemli olan, geleneksel elektriksel sistemlerin güç koşullarını ve zayıf taraflarını ve kazaları önlemek için alınması gereken emniyet tedbirlerini anlamaktır.

Elektrik şebekelerini işleten kurumlar, bir çift güç hattı ile her eve elektrik gücünü dağıtırlar. Her abone, Şekil 28.28'de gösterildiği gibi bu elektrik hatlarına paralel olarak bağlıdır. Şekil 28.28 de gösterildiği gibi, tellerden biri *canlı uç (faz)*⁵, diğeri *nötr* olarak isimlendirilir. Bu kablolar arasındaki potansiyel farkı 120 V civarındadır (Ülkemizde bu, 220 V'tur.). Bu voltaj zamanla alternatif olarak değişir. Kablolardan biri (nötr) toprağa bağlıdır ve öteki "canlı" uçtaki (faz) potansiyel toprağa göre salınım yapar. Sabit emk (doğru akım) için şimdiye kadar işyerlerine ve evlere dağıtım yapan şirketler alternatif akımı da uyguladıklarını öğrendik. (Alternatif voltaj ve akımlar Bölüm 33'te tartışılacaktır.)

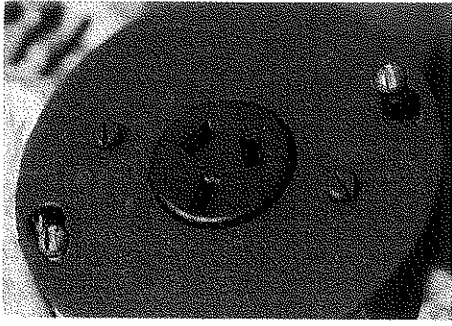
Elektrik sayacı evde kullanılan elektriği kaydetmek için eve gelen kabloya seri olarak bağlanır. Sayaçtan sonra, ev içerisinde paralel şekilde dağıtılmış devreleri ayırmak için teller kullanılır. Her devre, devre kesici (veya eski tesisatlarda kullanılan sigorta) ihtiva eder. Her bir devre kesici ve tel akım taleplerini karşılamak için dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Şayet bir devre 30A'e kadar bir akımı taşıyacaksa, bu akımı kaldırabilecek kalınlıkta tel ve uygun devre kesici seçilmelidir. Normal olarak, güç lambaları ve küçük ev aletleri için kullanan tesisatlar, genellikle sadece 15 A'lık bir akıma ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, her bir devre, çeşitli yük şartlarına uyabilmesi için kendi devre kesicisine sahip olur.

Örnek olarak, bir tost makinası, bir mikrodalga fırın ve bir kahve makinası (bunların her biri Şekil 28.28'deki R_1 , R_2 , R_3 dirençlerine karşılık gelmektedir) bağlı olduğu bir devre düşünelim. Her bir aletten geçen akımı $\mathcal{P} = I\Delta V$ ifadesini kullanarak hesaplayabiliriz. 1000 W'lık bir tost makinası, 1000 W/120 V = 8,33 A'lık bir akım çekecektir. 1300 W'lık bir mikrodalga fırın 10,8 A'lık ve 800 W'lık bir kahve makinası da 6,67 A'lık bir akım çekecektir. Bu üç alet



Şekil 28.28 Ev elektrik tesisatı. Dirençler, tesisata bağlı ev aletlerini gösterir ve 120 Volt'la çalışırlar.

⁵ Canlı uç, toprak seviyesinin üstünde veya altındaki elektrik potansiyelinde olan bir iletken için kullanılan mesleki bir terimdir.



Şekil 28.29 240 V'luk bir alet için güç bağlantıları (George Semple)

aynı anda çalıştırılırsa, toplam olarak 25,8 A'lık akım çekeceklerdir. Bu nedenle devre, en azından bu kadarlık yüksek bir akım çekecek şekilde düzenlenmelidir. Şayet tesisatı koruyan devre kesicinin değeri çok küçükse, -20A gibi-üç alet aynı anda çalıştırıldığında, bunların çalışmasını önleyecek şekilde devre kesici harekete geçecektir. Bu durumdan kaçınmak için, tost makinası ve kahve makinası aynı 20 A'lık tesisatta çalıştırılabilir ve mikro dalga fırın ayrı bir 20A'lık devreye bağlanır.

Kurutma makinaları gibi ağır iş aletleri 240 V'ta çalışırlar. Elektrik sanitallerini işleten şirketler, toprak potansiyelinden 120 V daha *aşağıda* üçüncü bir canlı kablo ile bu voltajı sağlarlar (Şekil 28.29). Böylece, bu kablo ile diğer canlı kablo (bu toprak potansiyelinin 120 V üstündedir) arasındaki potansiyel farkı 240 V olur. 240 V'luk bir hatla çalışan alet, 120 V'luk bir hatla çalışan aynı aletin ihtiyaç duyacağı akımın yarısını çekecektir; böylece yüksek voltaj devresinde, aşırı ısınma bir problem olmaksızın daha ince kablolar kullanılabilir.

Elektrik Emniyeti

Bir elektrik prizinin canlı ucu direk olarak toprağa bağlandığında, devre *tamamlanır* ve bir kısa-devre durumu ortaya çıkar. Farklı potansiyellerdeki iki uç arasında hemen hemen sıfır direnç olduğu zaman *kısa devre* meydana gelir ve devre çok büyük akım çeker. Bu, kazara vukuu bulduğunda uygun şekilde çalışan devre kesici, devreyi "açacaktır." Diğer taraftan bir kimse, toprakla temasta iken yıpranmış bir kablounun canlı ucuna (faza) dokunur veya iletkeni tutarsa elektrige çarpılabilir. Toprakla çok iyi bir temas (kontakt), kişinin bir su borusuna (ki bu normal olarak toprak potansiyelidir) dokunmasıyla veya ayağı yaş iken toprak üzerinde durmasıyla (çünkü su iyi bir yalıtkan değildir) sağlanabilir. Bu gibi durumlardan ne olursa olsun sakınılmalıdır.

Elektrik şoku ciddi yanıklara ve kalp gibi hayati organların hasar görmesine sebep olabilir. Vücuda verilen hasarın derecesi, akımın büyüklüğüne, şokun uygulandığı zamana, elektriksel temasın vücuttaki yerine ve akımın vücuttan geçtiği kısımlara bağlıdır. 5 mA veya daha az akımlar, şokun sadece hissedilmesine sebep olur. Normal olarak çok az hasar verir veya hiç vermez. Akım 10 mA'den büyükse, el kasları çekilir ve kişi, canlı uçtan zor kurtulur. 100 mA'lık bir akım, sadece birkaç saniye için vücuttan geçerse sonuç ölüm olabilir. Böyle büyük akımlar solunumla ilgili kasları felce uğrutup, nefes almayı engeller. Bazı durumlarda, 1 A civarındaki akımların vücuttan geçmesi, ciddi (ve bazen öldürücü) yanıklara sebep olabilir. Pratikte, 24 V'tan daha büyük voltaj olduğunda, canlı uçlarla temasta olmamak, güvenlikte olmak sayılır.

Birçok 120 V'luk priz Şekil 28.30 da görüldüğü gibi üç kollu güç teli içerir. (Bu özellik tamamen yeni bir elektrik tesisatını gerektirir.) Bu kolların biri canlı uç, diğer ikisi toprağa bağlanır. İlave toprak bağlantısı, güvenlik amaçlıdır. Birçok elektrikli alet, toprak kablolarından biri doğrudan aletin dış kutusuna bağlı olan, üç kollu, 120 V'luk güç kablosu içerir. Canlı uç, aletin dış kutusuna kazara kısa devre yaparsa (ki bu kabloların izolasyonunun sıyrılması durumunda çok rastlanır) o zaman akım, aletin içerisindeki düşük dirençli yolu takip ederek toprağa iletilecektir. Ters durumda, şayet aletin dış kutusu düzgün bir şekilde topraklanmamışsa ve bir kısa devre olursa, aletin dış kutusu ile temasta olan bir kimsenin vücudu toprağa giden düşük dirençli bir yol gibi davranacağından, elektrik şokuna maruz kalacaktır.



Şekil 28.30 120 V'luk bir alet için üçlü güç kablosu fişi (George Semple)

Şimdilerde, *topraklama kusurlarını gideren* özel güç prizleri yeni evlerin mut-faklarında, banyolarında, bodrumlarında ve diğer tehlikeli kısımlarında kulla-nılmaktadır. Bu tür aygıtlar toprağa sızan küçük akımları (≈ 5 mA) algılaya-rak, elektrik çarpmasına karşı insanları koruyacak şekilde Bölüm 31 de açık-landığı gibi dizayn edilirler. Fazla bir sızıntı akımı tesbit edildiğinde, akım bir milisaniyeden daha az bir zamanda kesilir.

Sınama Sorusu 28.4

Bir cihazda paralel bağlı bir devre kesici mi yoksa seri bağlı bir devre kesici mi devreyi koruyor?

ÖZET

Bir bataryanın **emk'sı** akım sıfır iken onun uçları arasındaki voltaja eşittir. Ya-ni emk, bataryanın **açık-devre voltajına** eşdeğerdir.

Seri bağlı bir takım direncin eşdeğer direnci:

$$R_{es} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (28.6)$$

Paralel bağlı bir takım direncin eşdeğeri direnci;

$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (28.8)$$

ile verilir. Dirençleri, paralel veya seri olarak birleştirmek mümkün olursa, dirençlerin, devrenin diğer kısımlarını nasıl etkilediğini belirlememizi kolay-laştırır.

Birden fazla kapalı ilmek ihtiva eden karmaşık devreler, **Kirchhoff kural-ları** kullanılarak incelenir. Bu kurallar:

1. Herhangi bir düğüm noktasına giren akımların toplamı, bu düğüm nokta-sından çıkan akımların toplamına eşit olmalıdır:

$$\sum I_{gi} = \sum I_{çık} \quad (28.9)$$

2. Kapalı bir ilmek (halka) boyunca, devre elemanlarının uçları arasındaki potansiyel farklarının toplamı sıfıra eşit olmalıdır:

$$\sum_{\text{kapalı ilmek}} \Delta V = 0 \quad (28.10)$$

Birinci kural yük korunumunun ifadesidir. İkinci kural enerjinin korunumu ifadesine eşdeğerdir.

Bir direnç, akım yönünde geçildiğinde, direncin uçlarındaki potansiyel değişimi $\Delta V = -IR$ dir. Direnç akımın ters yönünde geçiliyorsa $\Delta V = IR$ dir. Bir emk kaynağı, emk yönünde (negatiften pozitif) geçilirse, potansiyeldeki de-ğişim $+E$ olur. emk'nın tersi yönünde (pozitiften negatife) geçilirse, potansi-yeldeki değişim $-E$ olur. Bu kurallarla Eş. 28.9 ve 28.10 birlikte kullanılırsa, elektrik devrelerini analiz etmek mümkün olur.

Bir kondansatör, bir R direnci üzerinden E emk'lı bir batarya ile yüklenir-se, devredeki akım ve kondansatör üzerindeki yük zamanla,

$$q(t) = Q(1 - e^{-t/RC}) \quad (28.14)$$

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} \quad (28.15)$$

ifadelerine göre değişir. Buradaki $Q = C\mathcal{E}$, kondansatörün üzerindeki maksimum yüküdür. RC çarpımına devrenin **zaman sabiti** τ denir. Yüklü bir kondansatör, bir R direnci üzerinden boşalırsa, yük ve akım zamanla,

$$q(t) = Q e^{-t/RC} \quad (28.17)$$

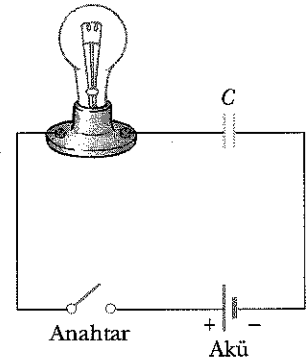
$$I(t) = -\frac{Q}{RC} e^{-t/RC} \quad (28.18)$$

ifadelerine göre üstel olarak azalır. Burada $I_0 = Q/RC$ devredeki başlangıç akımı, Q kondansatör üzerindeki başlangıç yüküdür. Eş. 28.14, 28.15, 28.17 ve 28.18, RC devresindeki akım ve potansiyel farkları ile, devredeki kondansatörde depolanan yükü analiz etmenize olanak verir.

SORULAR

1. Bir bataryanın yük direnci ve iç direnci arasındaki farkı açıklayınız.
2. Hangi şartlar altında bir bataryanın uçları arasındaki potansiyel farkı, emk'ne eşittir? Batarya çıkış voltajı emk'ni aşabilir mi? Açıklayınız.
3. Bir bataryadan geçen akımın yönü, her zaman negatif uçtan pozitif uca doru mudur? Açıklayınız.
4. Eşdeğer direncin, bu direnci oluşturan her bir dirençten daha büyük olması için, bu dirençleri nasıl bağladınız? Üç dirençli bir örnek veriniz.
5. Eşdeğer direnç bu direnci oluşturan her bir dirençten daha küçük olması için, bu dirençleri nasıl bağladınız? Üç dirençli bir örnek veriniz.
6. Üç lamba ve bir batarya veriliyor. Çizebildiğiniz kadar çok farklı elektrik devresi çizin.
7. Dirençler seri bağlı iken aşağıdakilerden hangisi her bir direnç için aynı olacaktır? Potansiyel farkı, akım, güç.
8. Dirençler paralel bağlı iken aşağıdakilerden hangisi her bir direnç için aynı olacaktır? Potansiyel farkı, akım, güç?
9. Paralel bağlı özdeş iki direncin, başka paralel bağlı özdeş çift ile seri bağlı olmasında, tek bir direnç kullanmaktan öte ne gibi avantaj olabilir?
10. Kısa kablolarla 120 V'luk bir kaynağa bağlı bir akkor lamba aynı kaynağa uzun kablolarla bağlı olduğu durumdan daha fazla ışık verecektir. Açıklayınız.
11. Bir direncin uçları arasındaki potansiyel farkı ne zaman pozitif olabilir?
12. Şekil 28.15 ile ilgili olarak g ve h noktaları arasındaki iletken tel yerine 10Ω 'luk bir direncin yerleştirildiğini düşünelim. Bu durumun, Örnek 28.9'da hesaplanan akımı neden etkilemeyeceğini açıklayınız.

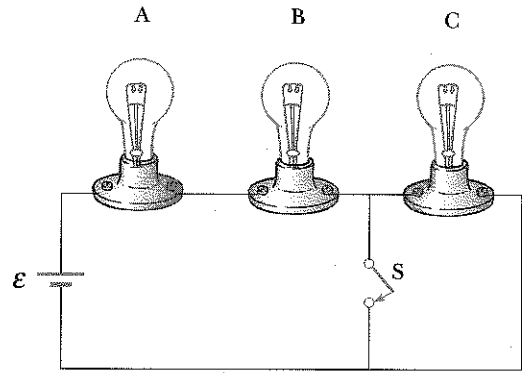
13. Şekil S28.13 ile ilgili olarak, anahtar kapatıldıktan sonra lambaya ne olacağını anlatınız. Kondansatörün büyük bir sığa değerine sahip olduğunu ve başlangıçta yüksüz olduğunu varsayınız ve lamba, doğrudan bataryanın uçlarına bağlandığında aydınlanacağını kabul ediniz.



Şekil S28.13

14. İdeal bir ampermetre ve voltmetrorenin iç direnci ne olur? Bunların neden ideal ölçü aletleri olacağını açıklayınız.
15. Potansiyometre uygulamasında (Kesim 28.5) bilinen ve bilinmeyen emk'ların iç dirençleri ihmal edilmesi ne rağmen, gerçekte bu kabulü yapmak gereksizdir. $\mathcal{E}_x$ 'i ölçerken iç dirençlerin neden rol oynamadıklarını açıklayınız.

16. Banyo küvetinde iken ışığı yakmak neden tehlikelidir?
17. Bir binadan düştüğünüzü ve düşerken bir yüksek voltaj kablосundan tutunduğunuzu farz edin. Elektriğe çarpılır mıydınız? Daha sonra kablo koparsa, düşerken kablосun ucundan tutmaya devam etmeli misiniz?
18. 120 V ile çalışma, 240V'a nazaran ne gibi avantajlar ve dezavantajlar getirir?
19. Elektrikçiler canlı uçlarla çalıştığında, telleri hareket ettirmek için genellikle avuç içlerini ve parmaklarını kullanırlar. Bu tekniği kullanmaları hakkında ne düşünüyorsunuz?
20. Canlı bir yüksek-voltaj teline yakalanmış bir kimseyi kurtarmak için, kendi hayatınızı tehlikeye atmadan ne gibi bir yol takip ederdiniz?
21. Elektrik çarpmasının ciddiyetini belirleyecek olan şey vücuttan geçen akımsa, elektrik çarpmasına karşı yapılan uyarılar, neden "yüksek akım"dan ziyade "yüksek voltaj"dır?
22. Uçurtma uçururken, uçurtmanızın yüksek voltaj teline çarptığını varsayınız. Alacağınız elektrik şokunun büyüklüğünü hangi faktörler belirler?
23. Aşağıdaki şekilde (Şekil Q28.23) görüldüğü gibi, bir seri devre bataryaya bağlı üç özdeş lambadan ibarettir. S anahtarı kapatıldığında, (a) A ve B lambalarının şiddetlerine ne olur? (b) C lambasının şiddetine ne olur? (c) Devredeki akıma ne olur? (d) Üç lambanın uçları arasındaki potansiyel farklarına ne olur? (e) Devrede harcanan güç artar mı, azar mı yoksa aynı mı kalır?



Şekil Q28.23

24. Arabanızın farları açıkken, arabanızı ilk çalıştırdığınızda farlar niçin sönmüktür?
25. Kayak merkezi, vadide geçici bir dinlenme yeriyle, dağın bir tarafına yokuş aşağı yerleşmiş birkaç birbirine bağlı pist ve az sayıda telefelikten ibarettir. Teleferikler bataryalara ve pistler dirençlere benzer. İki pistin seri şekilde birbirine nasıl bağlandığını tanımlayınız. Üç pistin paralel olarak nasıl bağlandığını tanımlayınız. İki pist ve bir teleferiğin bağlantı taslağını çiziniz. Kayak merkezi için Kirchhoff'un düğüm kuralını ifade ediniz. Yükseklik ölçen aleti taşıyan kayakçıların biri dinlenme tesisinden her geçtiğinde ayak parmaklarını ısıtmak için durur. Yükseklik için Kirchhoff'un ilmek kuralını ifade ediniz.

PROBLEMLER

1, 2, 3 = kolay, orta, zorca; □ = Bu problemin tam çözümü Öğrenci Çözümlü El Kitabı ve Çalışma Kılavuzu'nda bulunabilir

= Çözüm <http://www.saunderscollege.com/physics/> de bulunabilir □ = Problemi çizmek için bilgisayar kullanmak faydalı olabilir

bilir □ = "Etkileşimli Fizik" paket programında bulunabilir □ = Sayısal/sembolik problem çifti

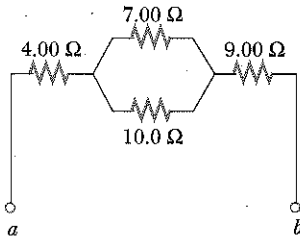
Kesim 28.1 Elektromotor Kuvveti

1. Bir batarya 15 V'luk bir emk'ine sahiptir. R gibi bir dış yük direncine 20 W'lık bir güç sağlandığında bataryanın çıkış voltajı 11,6 V oluyor. (a) R 'nin değeri nedir? (b) Bataryanın iç direnci nedir?
2. (a) Çıkış voltajı 10 V ve iç direnci 0,2 Ω olan bataryaya bağlı 5,6 Ω 'luk dirençten geçen akım nedir? (b) Bataryanın emk'i nedir?
3. 1,50 V'luk iki pil, pozitif uçları aynı yönde olacak şekilde bir lambaya seri olarak bağlanmışlardır. Pillerden biri 0,255 Ω 'luk diğeri 0,153 Ω 'luk iç dirence sahiptir. Anahtar kapatıldığında lambadan geçen akım 0,6 A'dır. (a) Lambanın direnci nedir? (b) Sıcaklıktaki artmayla temsil edildiği gibi, harcanan gücün ne kadarlık oranı pillerde harcanmaktadır.
4. Bir otomobil aküsü 0,080 Ω iç dirence ve 12,6 V'luk emk'ya sahiptir. Farları toplam 5,00 Ω (sabit kabul ediniz.) dirence sahiptir. (a) Yalnızca akünün yüklü

olduğu başlangıç halinde, (b) motor çalıştıktan sonra motordan ilave 35,0 A'lık akımla aküden beslenirken, farların ampullerinin uçları arasındaki potansiyel farkı nedir?

Kesim 28.2 Seri ve Paralel Bağlı Dirençler

5. R_1 direncine sahip bir ilmek devresindeki akım 2,00 A'dır. R_1 direncine seri olarak $R_2 = 3,00 \Omega$ 'luk bir direnç ilave edildiği zaman, akım 1,60 A'e indirgeniyor. R_1 'in değeri nedir?
6. (a) Şekil P28.6'daki a ve b noktaları arasındaki eşdeğer direnci bulunuz. (b) a ve b noktaları arasına 34 V'luk bir potansiyel farkı uygulanmaktadır. Her bir dirençteki akımı hesaplayınız.
7. Bir televizyon tamircisinin 100 Ω luk bir dirence ihtiyacı vardır. Fakat tamircinin bu değerde direnci yoktur. Alet kutusunda sadece bir tane 500 Ω luk di-

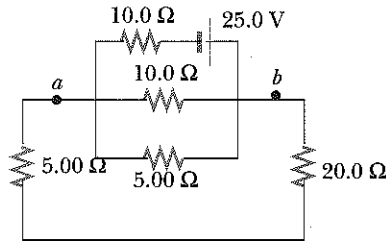


Şekil P28.6

renç ve iki tane $250\ \Omega$ luk direnç vardır. Eldeki dirençlerle, gereken direnç nasıl elde edilebilir?

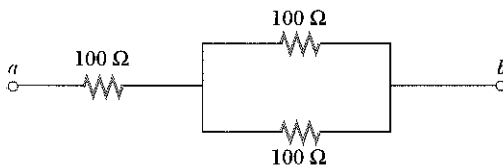
8. 120 V ve 75 W'lık bir ampul, her biri $0,800\ \Omega$ olan iki iletken telden yapılmış geniş uzun bir yaylı soketin bir ucuna vidalanmıştır. Geniş yaylı soketin diğer ucu 120 V'luk bir prize bağlanmıştır. Bir devre diyagramı çizin ve ampulün çektiği gerçek gücü hesaplayınız.

9. Şekil P28.9'da gösterilen devre veriliyor. (a) $20\ \Omega$ luk dirençteki akımı ve (b) a ve b noktaları arasındaki potansiyel farkını bulunuz.



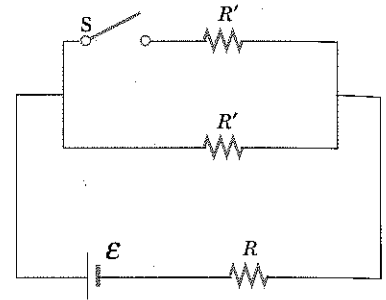
Şekil P28.9

10. Eşit uzunluklu dört bakır tel seri olarak bağlanmıştır. Tellerin kesit alanları, $1,00\ \text{cm}^2$, $3,00\ \text{cm}^2$ ve $5,00\ \text{cm}^2$ şeklindedir. Bunlara 120 V'luk bir voltaj uygulanırsa $2,00\ \text{cm}^2$ 'lik telin uçları arasındaki potansiyel farkı nedir?
11. Üç adet $100\ \Omega$ luk direnç, Şekil P28.11'de gösterildiği gibi bağlanmıştır. Dirençlerin herhangi birinde harcanabilecek maksimum güç $25\ \text{W}$ 'tır. (a) a ve b uçlarına uygulanabilecek maksimum voltaj nedir? (b) (a)'da bulunan voltaj için, her bir dirençte harcanan güç nedir? Harcanan toplam güç nedir?



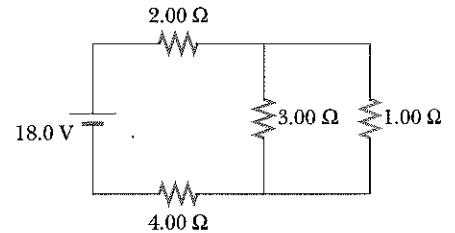
Şekil P28.11

12. Sadece $2\ \Omega$, $3\ \Omega$ ve $4\ \Omega$ luk üç direnç kullanarak, bir veya daha fazla dirençlerin çeşitli bileşimleriyle elde edilebilecek 17 farklı direnç değerini bulunuz. Gerekli olan direnç değerlerini tablo halinde yazınız.
13. $500\ \Omega$ luk bir direnç, bir devredeki dirençle paralel bağlandığında devredeki akım üç kat artmaktadır. $500\ \Omega$ luk direnç bağlanmadan önce devrenin direnci nedir?
14. Şekil P28.14 te gösterilen devrenin üst kısmında harcanan güç anahtarın açık veya kapalı olmasına bağlı değildir. Şayet $R = 1,00\ \Omega$ ise R' nedir? Voltaj kaynağının iç direncini ihmal ediniz.



Şekil P28.14

15. Şekil P28.15 de gösterilen devredeki her bir dirençte harcanan gücü hesaplayınız.

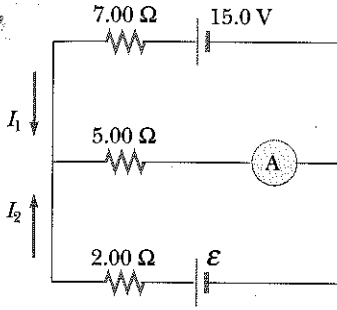


Şekil P28.15

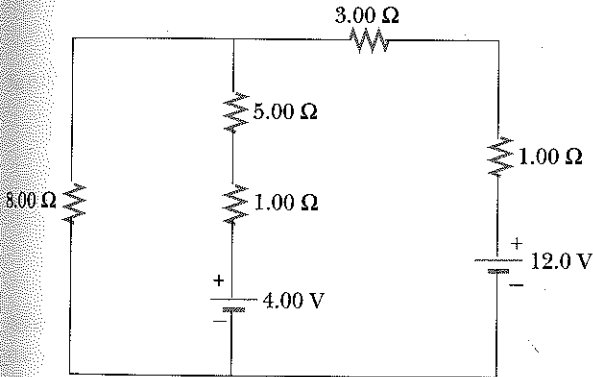
16. Seri bağlı iki direnç, $690\ \Omega$ luk eşdeğer dirence sahiptir. Bunlar paralel olarak bağlandıklarında eşdeğer direnç $150\ \Omega$ olmaktadır. Her bir direncin değerini bulunuz.
17. Şekil 28.4 ve 28.5'de $R_1 = 11\ \Omega$, $R_2 = 22\ \Omega$ ve batarya 33 V'luk bir çıkış voltajına sahip olsun. (a) Şekil 28.5'de gösterilen paralel devrede, hangi direnç daha fazla güç kullanır? (b) Her bir direnç tarafından kullanılan toplam gücün (I^2R) batarya tarafından sağlanan güce ($I\Delta V$) eşit olduğunu gösteriniz. (c) Şekil 28.4'deki seri devrede, hangi direnç daha fazla güç kullanır? (d) her bir direnç tarafından kullanılan toplam gücün (I^2R), batarya tarafından sağlanan güce ($\mathcal{P} = I\Delta V$) eşit olduğunu gösteriniz. (e) Hangi devre düzeninde fazla güç kullanılır?

Kesim 28.3 Kirchhoff Kuralları

18. Şekil P28.18 de gösterilen devrede ampermetre 2,00 A okuyor. I_1 , I_2 ve $\mathcal{E}$ yi bulunuz.

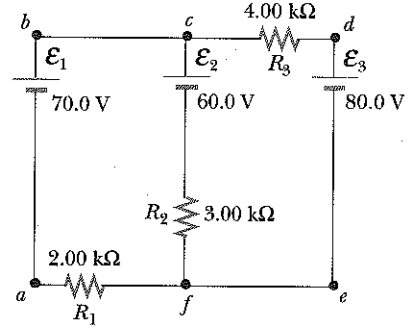
**Şekil P28.18**

19. Şekil P28.19'da gösterilen devrenin her bir kolundaki akımı hesaplayınız.

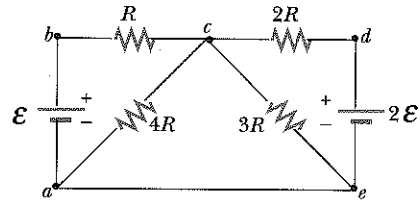
**Şekil P28.19,20 ve 21**

20. Şekil P28.19 da, her farklı akımı ölçmek için yeterli sayıdaki ampermetreleri gösteriniz. Her bir direnç ve her bir bataryanın uçları arasındaki potansiyel farkını ölçmek için gereken yeterli sayıdaki voltmetreleri gösteriniz.
21. Şekil P28.19 da gösterilen ve problem 19 da düşünülen devre 2,00 dk bağlanmıştır. (a) Her bir batarya tarafından sağlanan enerjiyi bulunuz. (b) Her bir dirençte harcanan enerjiyi bulunuz. (c) Bataryadaki kimyasal enerjiden devre direncindeki iç enerjiye dönüştürülen enerjinin toplam miktarını bulunuz.

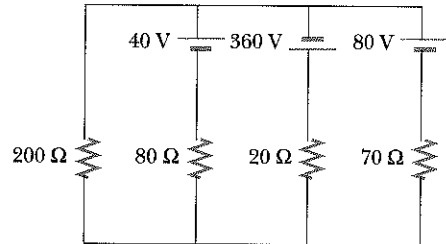
22. Kirchhoff kurallarını kullanarak, (a) Şekil P28.22'de gösterilen devrede her bir dirençteki akımı bulunuz. (b) c ve f noktaları arasındaki potansiyel farkını bulunuz. Bu noktaların hangisi daha yüksek potansiyeldedir?

**Şekil P28.22**

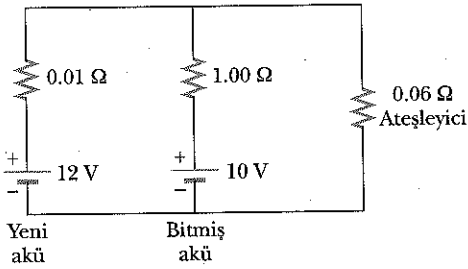
23. Şekil P28.23 deki devrede $R = 1,00 \text{ k}\Omega$ ve $\mathcal{E} = 250 \text{ V}$ ise, a ve e arasındaki yatay teldeki akımın yönünü ve şiddetini belirleyiniz.

**Şekil P28.23**

24. Şekil P28.24 teki devrede her bir dirençteki akımı ve 200 Ω'luk direncin uçları arasındaki voltajı hesaplayınız.

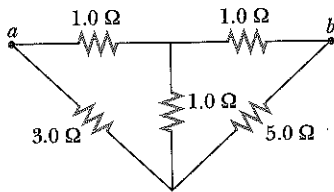
**Şekil P28.24**

25. "Bitmiş" bir akümülatör, başka bir arabanın yeni aküsüne ara kablolarla bağlanarak yüklenmektedir (Şekil P28.25). Bujideki (ateşleyici) direnci ve bitmiş aküdeki akımı bulunuz.



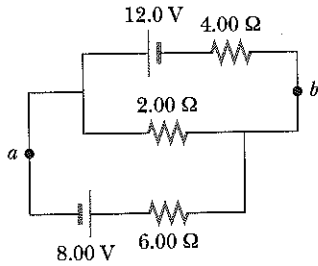
Şekil P28.25

26. Şekil P28.26'da gösterilen ağ için $R_{ab} = \frac{27}{17} \Omega$ olduğunu gösteriniz.



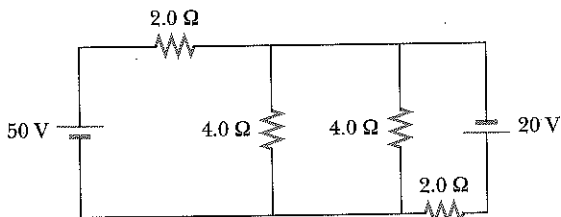
Şekil P28.26

27. Şekil P28.27'de gösterilen devre için (a) 2Ω luk dirençteki akımı ve (b) a ve b noktaları arasındaki potansiyel farkını hesaplayınız.



Şekil P28.27

28. Şekil P28.28'de görülen devrede, her bir dirençte harcanan gücü hesaplayınız.



Şekil P28.28

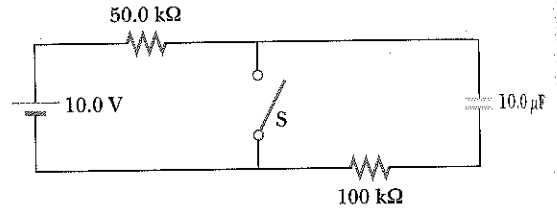
Kesim 28.4 RC Devreleri

WEB 29. $R = 1 \text{ M}\Omega$, $C = 5 \mu\text{F}$ ve $\mathcal{E} = 30 \text{ V}$ olan bir seri RC devresi (Şekil 28.16'ya bak) veriliyor. (a) Devrenin zaman sabitini ve (b) anahtar kapatıldıktan sonra kondansatör üzerindeki maksimum yükü bulunuz. (c) $t = 0$ da anahtar kapalıyken, $10,0 \text{ s}$ sonra dirençteki akımı bulunuz.

30. $5,10 \mu\text{C}$ 'luk bir başlangıç yüküne sahip 2 nF 'lık bir kondansatör $1,30 \text{ k}\Omega$ 'luk bir direnç üzerinden boşalmaktadır. (a) Kondansatörün uçlarına bağlandıktan $9 \mu\text{s}$ sonra dirençten geçen akımı hesaplayınız. (b) $8 \mu\text{s}$ sonra kondansatör üzerinde ne kadar yük birikir? (c) Direnç üzerindeki maksimum akım nedir?

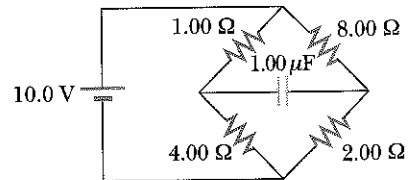
31. Tamamen yüklü bir kondansatörde $U_0 \text{ J}$ 'lük enerji depolanmıştır. Boşalma esnasında yük, ilk değerinin yarısına düştüğünde geride ne kadar enerji kalmıştır?

32. Şekil P28.32 de görülen devrede, S anahtarı uzun zamandır açıktır. Anahtar anı olarak kapatılıyor. (a) Anahtar kapanmadan önce, (b) anahtar kapatıldıktan sonra, zaman sabitini bulunuz. (c) $t = 0$ da anahtar kapalıysa, zamanın fonksiyonu olarak devredeki akımı hesaplayınız.



Şekil P28.32

33. Devre, Şekil P28.33'de gösterildiği gibi uzunca bir süre çalıştırılmıştır. (a) Kondansatörün uçları arasındaki voltaj ne kadardır? (b) Akü bağlantısı açılırsa, kondansatörün başlangıç voltajının $1/10$ ine boşalması için ne kadar süre gerekir?



Şekil P28.33

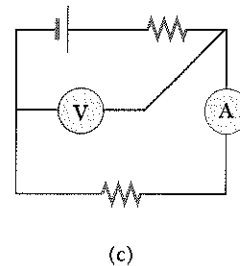
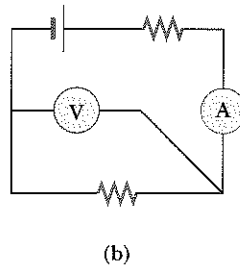
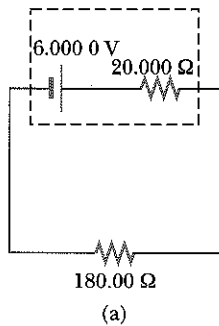
34. $4 \text{ M}\Omega$ 'luk bir direnç ve $3 \mu\text{F}$ 'lık bir kondansatör 12 V 'luk bir güç kaynağı ile seri olarak bağlanmıştır. (a) Devrenin zaman sabiti nedir? (b) Devredeki akımı ve kondansatör üzerindeki yükü zamanın fonksiyonu olarak ifade ediniz.

35. Kondansatör üretiminde kullanılan dielektrik malzemeler, iletkenliklerinin küçük fakat sıfır olmaması ile tanınır. Bu nedenle yüklü bir kondansatör, yükünü dielektrik malzemeden yavaşça "sızdırarak" kaybedecektir. $3,6 \mu\text{F}$ 'lık bir kondansatör yükünü öyle sızdırmaktadır ki potansiyel farkı, $4,0 \text{ s}$ 'de başlangıç değerinin yarısına düşmektedir. Dielektriğin eşdeğer direnci nedir?
36. Kondansatör üretiminde kullanılan dielektrik malzemeler, iletkenliklerinin küçük fakat sıfır olmaması ile tanınır. Bu nedenle yüklü bir kondansatör, yükünü dielektrik malzemeden yavaşça "sızdırarak" kaybedecektir. C sığasına sahip bir kondansatör yükünü öyle sızdırmaktadır ki potansiyel farkı, t s'de başlangıç değerinin yarısına düşmektedir. Dielektriğin eşdeğer direnci nedir?
37. Bir RC devresindeki kondansatör, $0,900 \text{ s}$ içerisinde maksimum değerinin $\% 60$ 'na kadar yüklenebiliyor. Devrenin zaman sabiti nedir?

(Seçmeli)

Kesim 28.5 Elektrikli Aletler

38. Tam skala sapması için $1,5 \text{ mA}$ 'lık akım gereken ve 75Ω luk bir dirence sahip tipik bir galvanometre, bu akımları ölçmek için kullanılabilir. Hassas ölçü aletine hasar vermeden büyük akımları ölçmek için, Şekil 28.24a'dakine benzeyen nisbeten küçük değerli bir şönt direnci, ölçü aletine paralel olarak bağlanıyor. Böylece, akımın çoğu şönt direnci üzerinden geçecektir. Aletin tam-skala sapmasında 1 A 'lık bir akım ölçülebilmesi için şönt direncinin değerini hesaplayınız. (İpucu: Kirchhoff kurallarını kullanınız.)
39. Önceki problemde kullanılan aynı galvanometre, voltaj ölçmek için de kullanılabilir. Bu durumda, Şekil 28.24b'deki gibi büyük bir direnç alet ile seri olarak bağlanır. Böylece, büyük voltaj uygulandığında aletten geçecek olan akım sınırlanır. Potansiyel düşmesinin çoğu seri olarak bağlanan direnç üzerinde meydana gelir. Tam-skala sapığında alet, $25,0 \text{ V}$ 'luk bir voltaj ölçebilmesi için direnç değeri ne olmalıdır?

**Şekil P28.46**

40. $1,00 \text{ mA}$ akıma tam-ölçek hassasiyete sahip bir galvanometreyi, çıkış uçlarına $1,00 \text{ V}$ 'luk bir potansiyel uygulandığında tam-ölçek sapma gösterecek bir voltmetre yapmak için 900Ω luk bir seri direnç gerekmektedir. Aynı galvanometreyi 50 V (tam-skala)'luk bir voltmetre yapmak için gereken seri direncin değeri nedir?
41. Bir galvanometrenin 60Ω luk iç dirence sahip olduğunu ve tam-ölçek sapması için $0,500 \text{ mA}$ 'lık bir akıma ihtiyaç duyulduğunu varsayınız. Şayet galvanometre-direnç ikilisinin, tam-ölçek sapmada $0,100 \text{ A}$ 'lık bir akım ölçebilmesi için paralel olarak bağlanması gereken direncin değeri ne olur?
42. Şekil 28.25'de gösterilen tipteki bir Wheatstone köprüsü, bir bağlantı teli direncinin hassas bir ölçümünü yapmak için kullanılıyor. Devrede R_3 olarak gösterilen direnç $1 \text{ k}\Omega$ 'dur. Köprü, $R_1 = 2,5 R_2$ olacak şekilde R_1 ayarlanarak dengeleniyorsa, R_x nedir?
43. Şekil 28.25'de gösterilen Wheatstone köprüsünün dengede olmadığı durumu düşünün. Galvanometreden geçen akım, $R_x = R_3 = 7 \Omega$, $R_2 = 21 \Omega$ ve $R = 14 \Omega$ olduğu durumda hesaplayınız. Köprünün uçlarındaki voltajın 70 V olduğunu varsayınız ve galvanometrenin direncini ihmal ediniz.
44. **Tarama Problemi.** Wheatstone köprüsü bir telin zorlanmasını $(\Delta L/L_i)$ ölçmek için kullanılabilir. (Kesim 12.4'e bakınız.) Burada L_i telin zorlanmadan önceki uzunluğu, L zorlanmadan sonraki uzunluğu ve $\Delta L = L - L_i$ dir. $\alpha = \Delta L/L_i$ alalım. Herhangi bir uzunluk için direncin, $R = R_i(1 + 2\alpha + \alpha^2)$ olduğunu gösteriniz. Burada $R_i = \rho L_i/A_i$ 'dir. Telin direncinin ve hacminin sabit kaldığını kabul ediniz.
45. Şekil 28.27'de gösterilen potansiyometre devresi veriliyor. $1,0186 \text{ V}$ 'luk standart bir pil kullanıldığında ve a ve d arasındaki direnç 36Ω olduğunda, galvanometre sıfır göstermektedir. Standart pil yerine bilinmeyen bir emk konup direnç 48Ω 'a ayarlanırsa galvanometre sıfır göstermektedir. Bilinmeyen emk'nın değeri nedir?
46. **Sayaç Yüklmesi.** Virgülden sonra beş haneye kadar bu problemi yürütünüz. Şekil P28.46'ya göre, (a) İç direnci $20,000 \Omega$ ve emk'sı $6,000 \text{ V}$ olan bir bataryanın uçları arasına $180,00 \Omega$ 'luk direnç bağlandığı zaman, dirençten akan akım nedir? Direncin uçları

arasındaki potansiyel farkı ne olacaktır? (b) Şekil P28.46 da gösterildiği gibi devreye $20\,000\ \Omega$ dirençli bir voltmetre ve $0,500\,00\ \Omega$ dirençli bir ampermetre ilave edildiğini kabul ediniz. Her birinin okuduğu değeri bulunuz. (c) Şekil P28.46 da gösterildiği gibi, telin bir ucu hareketlidir. Sayaçların yeni okuduğu değerleri bulunuz.

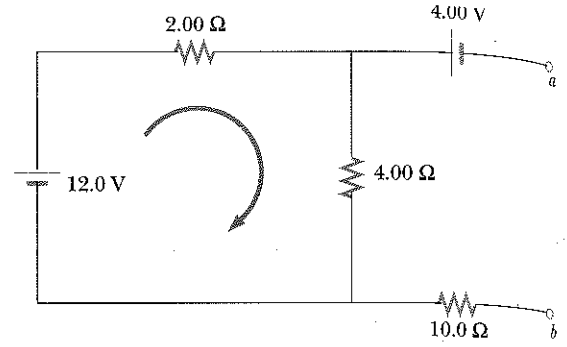
(Seçmeli)

Kesim 28.6 Elektrik Tesisatları ve Emniyeti

47. Bir elektrik ısıtıcısı 1500 W , bir tost makinası 750 W ve elektrikli bir kızartma aleti 1000 W 'lık güce sahiptir. Bu üç alet ortaklaşa 120 V 'luk bir devreye bağlıdır. (a) Her bir alet ne kadar akım çeker? (b) Bu durumda 25 A 'lık bir devre yeterli midir? Açıklayınız.
48. 8 fit uzunlukta bir uzatma kablosu, iki tane, her biri $1,024\text{ mm}$ çapında 18 -ayar bakır telden oluşmuştur. (a) 1 A 'lık bir akım taşındığında, bu kabloda harcanan güç (I^2R) ne kadardır? (b) 10 A 'lık bir akım taşındığında ne kadar güç harcarır?
49. Ekonomik nedenlerle bazen bakır kablolar yerine alüminyum kablolar kullanılır. 12 -ayar bakır kablo için maksimum izin verilebilir akım 20 A 'dır. Bakır kablounun birim uzunluğunda harcanan gücün aynısını kullanmak için, 12 -ayar alüminyum kabloda maksimum izin verilebilir akım ne olmalıdır?
50. Masa lambanızı yakınız. Başparmağınızla yayı kaldırmınız ve onun genişliğini karışınızla ölçünüz. (a) Elinizden akan akımın şiddetini tahmini olarak hesaplayınız. Lambanın içindeki yaya dokunan başparmağınızın $\sim 10^2\text{ V}$ ve iletkene dokunan işaret parmağınız toprak potansiyelindedir. (0 V) olduğunu kabul edebilirsiniz. Elinizin direnci sizin derinizin solmasının sonucu dış kısımlarının nemliliğine ve parmağınızın kalınlığına kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Başparmağınızın ucu ve işaret parmağınızın ucu arasındaki direncin $\sim 10^4\ \Omega$ olduğunu kabul ediniz. Lastik izalatörlü bir yayla model kurabilirsiniz. Ölçtüğünüz diğer nicelikleri veya tahmininizi ve onların değerlerini ifade ediniz. Sebebinizi izah ediniz. (b) Vücudunuzun diğer yüklerden veya akımlardan izole olduğunu farz ediniz. Dokunan başparmağınızın ve işaret parmağınızın potansiyellerini tahmin ediniz.

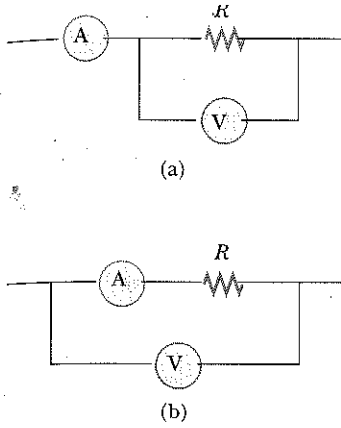
EK PROBLEMLER

51. Bir transistörlü radyoda seri olarak bağlı dört tane $1,50\text{-V}$ batarya kullanılmıştır. Bataryalar toplam 240 C 'luk yük üretebiliyorlarsa ve radyo $200\ \Omega$ dirence sahipse bataryalar ne kadar süre dayanır?
52. Bir batarya $9,20\text{ V}$ emk'ya ve $1,20\ \Omega$ içdirence sahiptir. (a) Bataryanın direnci $12,8\text{ W}$ 'lık güçten ne kadar çeker? (b) $21,2\text{ W}$ 'lık güçten ne kadar çeker?
53. Şekil P28.53'de gösterilen devrede a ve b noktaları arasındaki potansiyel farkını hesaplayınız ve hangi noktanın daha yüksek potansiyelde olduğunu belirleyiniz.



Şekil P28.53

54. $10\ \mu\text{F}$ 'lık bir kondansatör, 10 V 'luk bir batarya ile bir R direnci üzerinden yüklenmektedir. Yüklenme başladıktan 3 s sonra, kondansatör 4 V 'luk bir potansiyel farkına ulaşmaktadır. R 'nin değerini bulunuz.
55. İki tane bilinmeyen direnç seri bağlandığında, $5,00\text{ A}$ 'lık toplam bir akım ile 225 W 'lık bir güç harcanmaktadır. Dirençler paralel bağlandığında, aynı toplam akım için 50 W 'lık bir güç harcanmaktadır. Dirençlerin değerlerini tayin ediniz.
56. İki tane bilinmeyen direnç seri bağlandığında, I toplam bir akım ile $\mathcal{P}_s$ gücünü harcanmaktadır. Dirençler paralel bağlandığında, aynı toplam akım için $\mathcal{P}_p$ gücü harcanmaktadır. Dirençlerin değerlerini bulunuz.
57. Bir batarya $\mathcal{E}$ emk'i ve r iç direncine sahiptir. Bataryanın çıkış uçlarına bir R değişken direnci bağlanmıştır. Aşağıdakileri maksimum yapacak olan R değerini bulunuz. (a) Bataryanın çıkış uçlarındaki potansiyel farkını, (b) devredeki akımı ve (c) dirence verilen gücü.
58. Bir dc güç kaynağı, $40,0\text{ V}$ 'luk bir açık-devre emk'i ve $2,00\ \Omega$ luk bir iç dirence sahiptir. Bu kaynak, her biri $6,00\text{ V}$ 'luk emk'i ve $0,300\ \Omega$ 'luk iç dirence sahip seri bağlı iki aküyü şarj etmek için kullanılmaktadır. Şarj akımı $4,00\text{ A}$ ise, (a) seri olarak bağlanması gereken ilave direncin değeri ne olmalıdır? (b) güç kaynağı, aküler ve ilave dirençte kaybolan gücü (I^2R) bulunuz. (c) Ne kadarlık bir güç aküler içerisinde kimyasal enerjiye dönüştürülür?
59. Bir R direncinin değeri, Şekil P28.59'da gösterilen ampermetre-voltmetre sistemi ile tayin edilecektir. Ampermetre $0,500\ \Omega$, Voltmetre $20\,000\ \Omega$ luk bir dirence sahiptir. (a) Şekil P28.59a ve (b) Şekil P28.59b'de gösterilen devreler kullanılarak ölçüm yapılırsa, R 'nin hangi gerçek değeri arasında en fazla $\% 5$ 'lik hata ile ölçüm yapılacaktır? Her bir devre için ayrı, ayrı tayin ediniz.

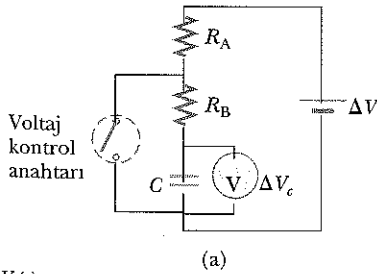


Şekil P28.59

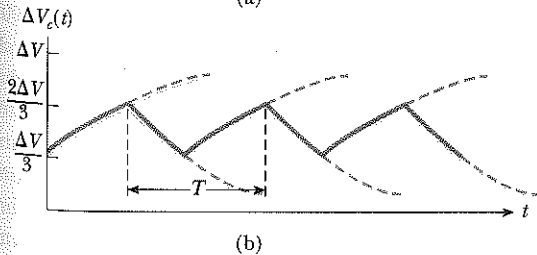
60. Şekil 28.16'daki gibi, bir batarya bir kondansatörü, bir direnç üzerinden yüklemek için kullanılmaktadır. Kondansatörün yüklenme işleminde batarya tarafından sağlanan enerjinin yarısının dirençte enerji olarak harcandığını, yarısının da kondansatörde depolandığını gösteriniz.

61. Basit bir RC devresinde (Şekil 28.16) bileşenlerin değerleri aşağıdaki gibidir: $C = 1,00 \mu F$, $R = 2,00 \times 10^6 \Omega$ ve $\mathcal{E} = 10,0 V$. Devredeki anahtar kapatıldıktan 10 s sonra (a) Kondansatör üzerindeki yükü, (b) dirençteki akımı (c) kondansatörde enerjinin birikme hızını ve (d) batarya tarafından enerjinin verilme hızını hesaplayınız.

62. Şekil P28.62a'da gösterilen devredeki anahtar $V_c > 2V/3$ olduğunda kapalı, $V_c < V/3$ olduğunda açılıyor. Voltmetre, Şekil 28.62b'de çizilen voltajı gösterecektir. Dalganın T periyodu R_A , R_B ve C cinsinden nedir?



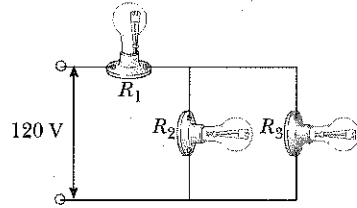
(a)



(b)

Şekil P28.62

63. 60 W ve 120 V'luk üç lamba Şekil 28.63'de gösterildiği gibi 120 V'luk bir güç kaynağına bağlanmıştır. (a) Üç lambada harcanan toplam gücü ve (b) her bir lambanın uçlarındaki voltajı bulunuz. Her bir lambanın direncini (gerçekte direnç akım ile artmasına rağmen) Ohm kanununa uyduğunu varsayınız.



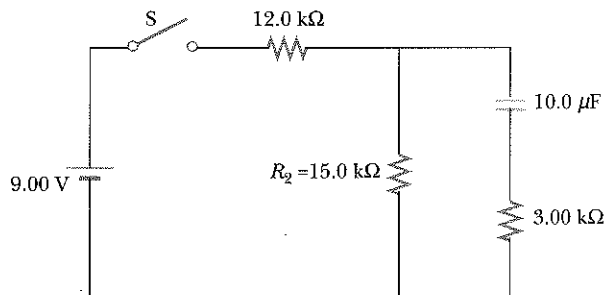
Şekil P28.63

64. Aşağıdaki verilen voltajlar için tam-ölçek sapma yapabilecek dc voltmetresi tasarlayınız: (a) 20,0 V, (b) 50,0 V ve (c) 100 V. Ölçü aletinin, 60 Ω luk bir bobin direncine ve 1,00 mA'lık bir akım için tam-ölçek sapmaya sahip olduğunu varsayınız.

65. Aşağıda verilen akımlar için tam-ölçek sapma yapabilecek bir dc ampermetresi tasarlayınız. (a) 25,0 mA, (b) 50,0 mA ve (c) 100 mA. Ölçü aletinin 25 Ω uk bir bobin direncine ve 1,00 mA'lık bir tam-ölçek sapmaya sahip olduğunu varsayınız.

66. Bir galvanometre, 2500 Ω luk bir dirençle seri olarak bağlandığında 2,00V'luk tam-ölçek sapma yapabilen bir voltmetre olarak çalışmaktadır. Aynı galvanometre 0,22 Ω 'luk bir direnç ile paralel olarak bağlandığında, 0,500 A tam ölçek sapan bir ampermetre olarak çalışmaktadır. Galvanometrenin iç direncini ve tam-ölçek sapmayı oluşturmak için gerekli akımı bulunuz.

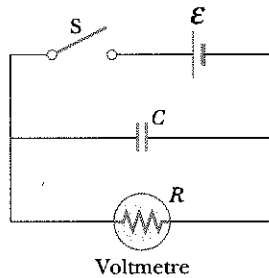
67. Şekil P28.67'de, anahtarın kondansatör tamamen yükleneyeceği kadar yeterince uzun bir süre kapatıldığı varsayılıyor. (a) her bir direnç içerisinde geçen kararlı durum akımını, (b) kondansatördeki yükü bulunuz. (c) Şimdi anahtar $t = 0$ anında açılıyor. R_2 'den geçen I_{R2} akımı için zamanın fonksiyonu olarak bir denklem yazınız, (d) kondansatör üzerindeki yük başlangıç değerinin 1/5'ine düşmesi için geçecek zaman bulunuz.



Şekil P28.67

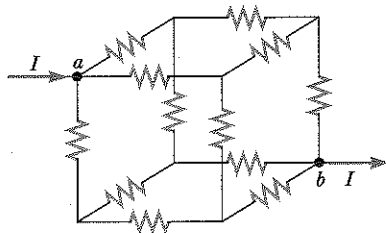
68. Şekil P28.68'de gösterilen devre, $10,0 \text{ M}\Omega$ luk dirençce sahip bir voltmetre ve $6,19 \text{ V}$ 'luk emk'ya sahip bir batarya kullanarak, laboratuvarında bilinmeyen bir C sığasını ölçmek için kuruluyor. Aşağıdaki tabloda verilen değerler zamanın fonksiyonu olarak kondansatörün uçlarında ölçülen voltajlardır. Burada $t = 0$ anahtarın açıldığı zamanı temsil etmektedir. (a) Zamana göre $\ln(\mathcal{E}/\Delta V)$ 'nin grafiğini çizin ve verilere uyan bir denklem bulmak için en küçük kareler metodunu kullanınız. (b) Grafiğin eğiminden devrenin zaman sabitini ve sığanın değerini elde ediniz.

$\Delta V(\text{V})$	$t(\text{s})$	$\ln(\mathcal{E}/\Delta V)$
6.19	0	
5.55	4.87	
4.93	11.1	
4.34	19.4	
3.72	30.8	
3.09	46.6	
2.47	67.3	
1.83	102.2	



Şekil P28.68

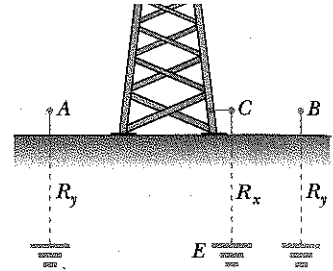
69. (a) Simetri yaklaşımını kullanarak, Şekil P28.69'daki düzenlemede herhangi bir dirençten geçen akımın, ya $I/3$ ya da $I/6$ olacağını gösteriniz. Bütün dirençler aynı r değerine sahiptir. (b) a ve b noktaları arasındaki eşdeğer direncin $(5/6)r$ olduğunu gösteriniz.



Şekil P28.69

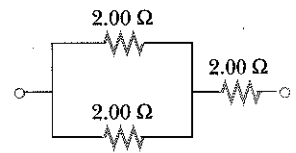
70. Radyo istasyon kampüsünün mühendislik öğrencileri anten kütlesi üzerinde yıldırım çubuğunun tesirini doğrulamak istiyorlar (Şekil P28.70). Bilinmeyen

R_x direnci C ve E noktaları arasındadır. E noktası gerçek bir toprak seviyesidir, fakat bu seviye yeryüzünün altında birkaç metrede olduğundan doğrudan ölçmek kolay değildir. Bilinmeyen R_x direncine giren iki özdeş çubuk A ve B temel seviyesine bağlanmıştır. Aşağıdaki işlemleri takip ederek, kalın bir iletken telle A ve B bağlandığında A ve B noktaları arasındaki R_1 direncini ve A ve C noktaları arasındaki R_2 direncini ölçünüz. (a) Gözlenebilir R_1 ve R_2 cinsinden R_x için bir ifade türetiniz. (b) Yeterli miktarda temel direnç $R_x < 2,00 \Omega$ olacaktır. Şayet ölçümler $R_1 = 13,0 \Omega$ ve $R_2 = 6,00 \Omega$ değerlerini verirse, istasyonun temel seviyesi uygun mudur?



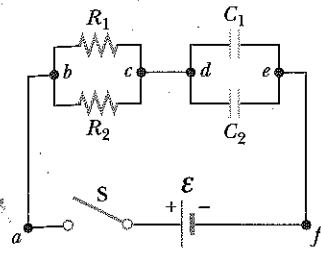
Şekil P28.70

71. Her biri 2Ω değerinde üç direnç, Şekil P28.71'de gösterildiği gibi düzenlenmiştir. Şayet her bir direnç için maksimum izin verilebilir güç $32,0 \text{ W}$ ise, devrede harcanabilecek maksimum gücü bulunuz.



Şekil P28.71

72. Şekil P28.72'deki devrede, iki direnç, $R_1 = 2,00 \text{ k}\Omega$ ve $R_2 = 3,00 \text{ k}\Omega$ ile iki kondansatör, $C_1 = 2,00 \mu\text{F}$ ve $C_2 = 3,00 \mu\text{F}$, $\mathcal{E} = 120 \text{ V}$ emk'lı bir aküye bağlıdır. Şayet S anahtarı kapanmadan önce kondansatörde yük bulunmuyorsa, anahtar kandıktan sonra sırasıyla C_1 ve C_2 kondansatörlerindeki q_1 ve q_2 yüklerini bulunuz. (İpucu: İlk devre, seri bağlı tek bir direnç ve tek bir kondansatörün bataryaya bağlanmasından oluşan basit bir RC devresidir. O zaman eşdeğer devrede depolanan yükü bulunuz.)



Şekil P28.72

73. emk'sı $\mathcal{E}$ olan bir bataryanız ve her biri sabit R dirençli aynı üç ampülünüz olduğunu kabul edin. Ampüller devreye (a) seri (b) paralel bağlandığında bataryadan çekilen güç ne olur? (c) Hangi bağlantıda ampüller daha parlak yanar?

SINAMA SORULARININ CEVAPLARI

- 28.1 R_1 dirençli ampül daha parlak olur. b , c 'ye bir telle bağlanırsa, R_2 devreden çıkarılmış olur ve direnç $R_1 + R_2$ değil R_1 olur. Direnç düştüğü için (uygulanan potansiyel farkı değişmez) batarya akımı artar. Bunun anlamı R_1 'in akımı artar ve R_1 ampülü daha parlak yanar. R_2 ampülü devre dışı olmuştur. Çünkü bağlanan yeni telin akım için direnci yok gibidir ve sonuçta R_2 ampülünden sıfır akım geçer.
- 28.2 Devreye seri olarak bir direnç eklenince, direnci artırdığı için akım azalır. Bataryanın uçları arasındaki potansiyel artar çünkü, akım düşünce küçük de olsa iç direnç üzerinde bir potansiyel düşmesine sebep olur.

Eğer ikinci direnç paralel bağlansa idi, devrenin toplam direnci azalacaktı ve sonuçta bataryanın akımı artacaktı. Kutupları arasındaki potansiyel farkı düşerdi, çünkü artan akım, iç direnç üzerinde büyük bir voltaj düşmesine sebep olurdu.

- 28.3 Biri yandığında diğerlerinin çalışmaya devam etmeleri için paralel bağlı olmaları gerekir. Eğer seri bağlansalar idi, birinin bozulması ile devrenin tamamının akımı kesilirdi.
- 28.4 Devre kesici, akım, önceden belirlenmiş bir değeri aştığında devreye açarak akımı kesme görevi yapar. Dolayısı ile devre kesici, uygun bir devreye seri olarak bağlanmalıdır (Bkz. Şek. 28.28).